

ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO CON CARBÓN MINERAL

INVESTIGADOR PRINCIPAL:

ING. ADÁN SILVESTRE GUTIÉRREZ

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN:

DANIELA ALBA CARRILLO

NATALIA ANDREA BEDOYA GIRALDO

ANGIE VANESSA PARDO MARULANDA

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA
2015

ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO CON CARBÓN MINERAL

DANIELA ALBA CARRILLO

NATALIA ANDREA BEDOYA GIRALDO

ANGIE VANESSA PARDO MARULANDA

Investigador principal

ADAN SILVESTRE GUTIERREZ

Proyecto de investigación

Grupo de investigación de Materiales de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA
2015

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos; en primer lugar a Dios por darnos la fortaleza y la inteligencia para poder culminar con éxito la meta de la carrera profesional que elegimos.

Posteriormente a nuestro Director de la investigación el Ingeniero Adán Silvestre Gutiérrez, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado que terminemos satisfactoriamente nuestra investigación; de igual forma a todos nuestros docentes que con su sabiduría y entrega nos hicieron partícipes de sus conocimientos.

A nuestros padres agradecerles infinitamente por su apoyo, consejos, ánimo y sacrificios con los que nos han impulsado al gran logro que estamos alcanzando.

A todos ellos, muchas gracias y que Dios los bendiga.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN | 14 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 15 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 16 |
| 2.1 Planteamiento | 16 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 18 |
| 4. OBJETIVOS | 19 |
| 4.1 Objetivo general | 19 |
| 4.2 Objetivos específicos | 19 |
| 5. HIPÓTESIS | 20 |
| 6. MARCO DE REFERENCIA | 21 |
| 6.1 Marco de Antecedentes | 21 |
| 6.2 Marco Conceptual | 24 |
| 6.2.1 Determinación de la resistencia del concreto | 24 |
| 6.2.2 Aditivos comunes del concreto | 24 |
| 6.2.3 Agregados | 26 |
| 6.2.3.1 Agregado Fino | 26 |
| 6.2.3.2 Agregado Grueso | 26 |
| 6.2.4 Carbón Mineral | 28 |
| 6.2.4.1 Origen del carbón mineral en Colombia, La Loma (Cesar) | 29 |
| 6.2.4.2 Clasificación del carbón mineral | 29 |
| 6.3 Marco Teórico | 30 |
| 6.3.1 Parámetros de Resistencia del Concreto | 30 |
| 6.3.2 El carbón como utilidad | 31 |

| | | |
|---------|---|----|
| 6.3.3 | Actualidad del carbón colombiano | 32 |
| 6.3.4 | Definiciones | 32 |
| 6.3.5 | Materiales | 36 |
| 6.3.5.1 | Carbón mineral | 36 |
| 6.3.5.2 | Cemento | 36 |
| 6.3.5.3 | Agregados | 36 |
| 6.3.4. | Módulo de elasticidad | 37 |
| 6.4 | Población de estudio y muestra | 38 |
| 6.5 | Marco de Localización | 41 |
| 6.6 | Marco Temporal | 41 |
| 6.7 | Marco Legal | 42 |
| 7. | METODOLOGÍA | 43 |
| 7.1 | Metodología | 43 |
| | Fase 1: Investigación | 43 |
| | Fase 2: Diseño de la mezcla | 44 |
| | Fase 3: Elaboración especímenes y pruebas compresión simple | 44 |
| | Fase 4: Tipo de investigación | 44 |
| | Fase 5: Diseño de experimentos | 44 |
| 7.1.1 | Recolección de información | 45 |
| 8. | DESARROLLO Y AVANCE DE RESULTADOS | 46 |
| 8.1 | Caracterización del carbón | 46 |
| 8.1.2. | Granulometría | 46 |
| 8.1.3. | Densidad | 48 |
| 8.2 | Caracterización de los agregados | 49 |

| | | |
|---------|--|----|
| 8.2.1 | Granulometría | 49 |
| 8.2.1.1 | Granulometría de Agregado Grueso | 50 |
| 8.2.1.2 | Granulometría de Agregado Fino | 51 |
| 8.2.2 | Resistencia al desgaste. Máquina de los Ángeles | 53 |
| 8.2.3 | Masas unitarias | 56 |
| 8.2.3.1 | Masas unitarias Agregado Grueso | 56 |
| 8.2.3.2 | Masas unitarias de Agregado Fino | 58 |
| 8.2.4 | Densidad Específica y Porcentaje de Absorción | 59 |
| 8.2.4.1 | Agregado grueso | 59 |
| 8.2.4.2 | Agregado fino | 62 |
| 9. | DOSIFICACIÓN | 67 |
| 9.1 | Selección del asentamiento | 68 |
| 9.2 | Chequeo del tamaño máximo nominal | 68 |
| 9.3 | Estimación del agua de mezcla | 68 |
| 9.4 | Determinación de la resistencia de dosificación | 69 |
| 9.4.1 | Selección de la relación Agua/Cemento | 69 |
| 9.5 | Contenido de Cemento | 70 |
| 9.6 | Contenido de agregados | 70 |
| 9.7 | Cálculo de proporciones | 71 |
| 9.8 | Proporciones por cilindro | 71 |
| 10. | ELABORACIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CON CARBÓN MINERAL | 74 |
| 11. | ENSAYO DE COMPRESIÓN | 78 |
| 12. | MÓDULO DE ELASTICIDAD DE YOUNG | 86 |

| | | |
|-----|-----------------|-----|
| 13. | CONCLUSIONES | 94 |
| 14. | RECOMENDACIONES | 95 |
| 15. | ANEXOS | 96 |
| 16. | BIBLIOGRAFÍA | 114 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Curvas características esfuerzo-deformación del concreto en compresión. | 24 |
| Figura 2. Agregado fino (arena). | 26 |
| Figura 3. Mina Pribbenow. | 29 |
| Figura 4. Carbón mineral. | 30 |
| Figura 5. Cemento Portland, Argos. | 36 |
| Figura 6. Reservas mundiales de carbón (MT). | 38 |
| Figura 7. Reservas de carbón en Colombia. | 39 |
| Figura 8. Formaciones Carboníferas en Colombia. | 41 |
| Figura 9. Granulometría del Carbón. | 47 |
| Figura 10. Curva Granulométrica Carbón. | 47 |
| Figura 11. Peso tara y carbón triturado. | 47 |
| Figura 12. Granulometría y tamizadora mecánica. | 48 |
| Figura 13. Peso tubo para densidad con carbón y peso tubo para densidad. | 48 |
| Figura 14. Granulometría Agregado Grueso. | 50 |
| Figura 15. Curva Granulometría Agregado Grueso. | 50 |
| Figura 16. Peso tara suelo grueso. | 51 |
| Figura 17. Tamizado Agregado grueso y agregado grueso. | 51 |
| Figura 18. Granulometría Agregado Fino. | 52 |
| Figura 19. Curva Granulometría Agregado Fino. | 52 |
| Figura 20. Peso tara suelo fino. | 52 |
| Figura 21. Granulometría agregado fino y tamices. | 53 |
| Figura 22. Peso Agregado Fino para tamizado. | 53 |
| Figura 23. Máquina de los ángeles. | 54 |
| Figura 24. Material descargado máquina de los ángeles. | 55 |
| Figura 25. Tamizado material descargado. | 55 |
| Figura 26. Máquina de los ángeles. | 55 |
| Figura 27. Peso Agregado Grueso Suelto. | 57 |

| | |
|---|----|
| Figura 28. Peso Agregado Grueso Compactado y agregado Grueso..... | 57 |
| Figura 29. Peso Agregado Fino Suelto. | 58 |
| Figura 30. Agregado Fino compactado y peso Agregado Fino compactado..... | 59 |
| Figura 31. Denominación densidad especifica agregado grueso..... | 60 |
| Figura 32. Agregado Grueso sumergido en el agua. | 61 |
| Figura 33. Peso Agregado Grueso Seco. | 61 |
| Figura 34. Ensayo molde cónico no hay humedad libre. | 63 |
| Figura 35. Lectura inicial picnómetro. | 63 |
| Figura 36. Muestra de agregado fino dentro del picnómetro y eliminación de aire atrapado..... | 64 |
| Figura 37. Lectura final en los picnómetros. | 64 |
| Figura 38. Agregado fino con agua..... | 64 |
| Figura 39. Lectura final agregado fino secado en el horno. | 65 |
| Figura 40. Peso tara. | 65 |
| Figura 41. Denominación Densidad Específica Agregado Fino. | 65 |
| Figura 42. Densidad especifica Agregado Fino. | 66 |
| Figura 43. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación. | 68 |
| Figura 44. Contenido de agua por m ³ de concreto, según asentamiento y TMN...69 | |
| Figura 45. Resistencia a la Compresión en función de la relación Agua/Cemento. | 69 |
| Figura 46. Diseño de mezcla muestra estándar..... | 71 |
| Figura 47. Dimensiones cilindro estándar..... | 71 |
| Figura 48. Proporciones por cilindro muestra estándar..... | 71 |
| Figura 49. Proporciones para 40 cilindros (4 base + 36 con carbón)..... | 71 |
| Figura 50. Proporciones de carbón para cada porcentaje, según el tamizado. | 72 |
| Figura 51. Proporciones por cilindro muestra 1% carbón mineral (sin agua)..... | 72 |
| Figura 52. Proporciones por cilindro muestra 3% carbón mineral (sin agua)..... | 72 |
| Figura 53. Proporciones por cilindro muestra 1% carbón mineral (sin agua)..... | 72 |
| Figura 54. Proporciones en gramos para cada cilindro de carbón mineral. | 73 |

| | |
|--|----|
| Figura 55. Materiales para elaboración de muestras. | 74 |
| Figura 56. Adición agregado grueso y agregado fino. | 75 |
| Figura 57. Ensayo cono de Abrams. | 75 |
| Figura 58. Vibración de la mezcla en moldes. | 75 |
| Figura 59. Cilindros de concreto en los moldes. | 76 |
| Figura 60. Cilindros de concreto desencofrados (Base y fondo). | 76 |
| Figura 61. Cilindros de concreto en proceso de curado. | 76 |
| Figura 62. Maquina ensayo a compresión. | 78 |
| Figura 63. Tipos de fallas cilindros de concreto. | 78 |
| Figura 64. Resistencia cilindros de concreto Base. | 79 |
| Figura 65. Resistencia cilindros de concreto Fondo 1%. | 79 |
| Figura 66. Resistencia cilindros de concreto Fondo 3%. | 79 |
| Figura 67. Resistencia cilindros de concreto Fondo 5%. | 79 |
| Figura 68. Resistencia cilindros de concreto 1/2" de 1%. | 80 |
| Figura 69. Resistencia cilindros de concreto 1/2" de 3%. | 80 |
| Figura 70. Resistencia cilindros de concreto 1/2" de 5%. | 80 |
| Figura 71. Resistencia cilindros de concreto 3/8" de 1%. | 80 |
| Figura 72. Resistencia cilindros de concreto 3/8" de 3%. | 80 |
| Figura 73. Resistencia cilindros de concreto 3/8" de 5%. | 81 |
| Figura 74. Base vs. Adición de 1% carbón mineral. | 81 |
| Figura 75. Resistencia vs. Tiempo (1% Carbón mineral). | 81 |
| Figura 76. Base vs. Adición de 3% carbón mineral. | 81 |
| Figura 77. Resistencia vs. Tiempo (3% Carbón mineral). | 82 |
| Figura 78. Base vs. Adición de 5% carbón mineral. | 82 |
| Figura 79. Resistencia vs. Tiempo (5% Carbón mineral). | 82 |
| Figura 80. Base vs. Adición de Tamiz Fondo carbón mineral. | 83 |
| Figura 81. Resistencia vs. Tiempo (Tamiz Fondo Carbón mineral). | 83 |
| Figura 82. Base vs. Adición de Tamiz 3/8" carbón mineral. | 83 |
| Figura 83. Resistencia vs. Tiempo (Tamiz 3/8" Carbón mineral). | 84 |
| Figura 84. Base vs. Adición de Tamiz 1/2" carbón mineral. | 84 |

| | |
|--|----|
| Figura 85. Resistencia vs. Tiempo (Tamiz 1/2" Carbón mineral). | 84 |
| Figura 86. Deformación unitaria de concreto con adición de carbón del 1%, 3% y 5%..... | 85 |
| Figura 87. Cilindro con falla de 1/2" 3% a los 14 días..... | 85 |
| Figura 88. Cilindro con falla de 1/2" 5% a los 14 días..... | 85 |
| Figura 89. Ensayo de tensión para cilindro de concreto. | 86 |
| Figura 90. Módulo de Young en la muestra Base..... | 87 |
| Figura 91. Diagrama Esfuerzo-Deformación, Muestra Base..... | 87 |
| Figura 92. Módulo de Young en el tamiz Fondo 1%. | 87 |
| Figura 93. Diagrama Esfuerzo-Deformación, Fondo 1%. | 88 |
| Figura 94. Módulo de Young en el tamiz Fondo 3%. | 88 |
| Figura 95. Diagrama Esfuerzo-Deformación, Fondo 3% | 88 |
| Figura 96. Módulo de Young en el tamiz fondo 5%. | 89 |
| Figura 97. Diagrama Esfuerzo-Deformación, Fondo 5%. | 89 |
| Figura 98. Módulo de Young en el tamiz 1/2" 1%. | 89 |
| Figura 99. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 1/2" 1%..... | 90 |
| Figura 100. Módulo de Young en el tamiz 1/2" 3%. | 90 |
| Figura 101. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 1/2" 3%..... | 90 |
| Figura 102. Módulo de Young en el tamiz 1/2" 5%. | 91 |
| Figura 103. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 1/2" 5%..... | 91 |
| Figura 104. Módulo de Young en el tamiz 3/8" 1%. | 91 |
| Figura 105. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 3/8" 1%..... | 92 |
| Figura 106. Módulo de Young en el tamiz 3/8" 3%. | 92 |
| Figura 107. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 3/8" 3%..... | 92 |
| Figura 108. Módulo de Young en el tamiz 3/8" 5%. | 93 |
| Figura 109. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 3/8" 5%..... | 93 |
| Figura 110. Módulo de Young del concreto con adición de carbón de 1%, 3% y 5%..... | 93 |
| Figura 111. Falla de cilindro base (14 días)..... | 99 |
| Figura 112. Falla de cilindro base (21 días)..... | 99 |

| | |
|---|-----|
| Figura 113. Falla de cilindro base (28 días)..... | 100 |
| Figura 114. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, Fondo (14 días)..... | 100 |
| Figura 115. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, Fondo (21 días)..... | 101 |
| Figura 116. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, Fondo (28 días)..... | 101 |
| Figura 117. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 3/8" (14 días)..... | 102 |
| Figura 118. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 3/8" (21 días)..... | 102 |
| Figura 119. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 3/8" (28 días)..... | 103 |
| Figura 120. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 1/2" (14 días)..... | 103 |
| Figura 121. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 1/2" (21 días)..... | 104 |
| Figura 122. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 1/2" (28 días)..... | 104 |
| Figura 123. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, Fondo (14 días)..... | 105 |
| Figura 124. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, Fondo (21 días)..... | 105 |
| Figura 125. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, Fondo (28 días)..... | 106 |
| Figura 126. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 3/8" (14 días)..... | 106 |
| Figura 127. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 3/8" (21 días)..... | 107 |
| Figura 128. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 3/8" (28 días)..... | 107 |
| Figura 129. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 1/2" (14 días)..... | 108 |
| Figura 130. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 1/2" (21 días)..... | 108 |
| Figura 131. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 1/2" (28 días)..... | 109 |
| Figura 132. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, Fondo (14 días)..... | 109 |
| Figura 133. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, Fondo (21 días)..... | 110 |
| Figura 134. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, Fondo (28 días)..... | 110 |
| Figura 135. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 3/8" (14 días)..... | 111 |
| Figura 136. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 3/8" (21 días)..... | 111 |
| Figura 137. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 3/8" (28 días)..... | 112 |
| Figura 138. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 1/2" (14 días)..... | 112 |
| Figura 139. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 1/2" (21 días)..... | 113 |
| Figura 140. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 1/2" (28 días)..... | 113 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO A. Análisis de arena para concreto..... | 96 |
| ANEXO B. Análisis de grava para concreto..... | 96 |
| ANEXO C. Analisis de grava para concreto..... | 97 |
| ANEXO D. Resultado de análisis muestra agregados..... | 97 |
| ANEXO E. Reporte consolidado de agregados..... | 98 |
| ANEXO F. Cilindros de concreto (Base)..... | 99 |
| ANEXO G. Cilindros de concreto con carbón mineral 1%..... | 100 |
| ANEXO H. Cilindros de concreto con carbón mineral 3%..... | 105 |
| ANEXO I. Cilindros de concreto con carbón mineral 5%..... | 109 |

RESUMEN

Este trabajo de investigación realiza el análisis de mezclas de concreto con carbón mineral, basado en pruebas y ensayos de laboratorio, para aligerar las estructuras de las construcciones que se implementen en la región del Eje Cafetero, concretamente en la ciudad de Pereira.

La investigación se realiza con la ayuda de diversas fuentes, como documentos internos de la Universidad Libre seccional Pereira, revisión de literatura, observaciones y pruebas de laboratorio, dentro de las cuales se tienen la caracterización de los agregados y del carbón mineral, la elaboración de las muestras en concreto y los ensayos de compresión y Módulo de elasticidad de Young.

Lo anterior favorece la formulación de conclusiones, las cuales pretenden ayudar a obtener una visión general de las condiciones actuales, de manera que se tomen decisiones determinantes para la eficiencia de la mezcla; de acuerdo a estos resultados se pudo deducir que la hipótesis planteada no cumple los parámetros establecidos por medio de la investigación, debido a la disminución de la resistencia al aumentar la adición de porcentaje de carbón mineral.

Este análisis ayuda a la ingeniería a realizar hallazgos para disminuir los riesgos frente a sismos y disminuir el costo de la mezcla de concreto.

ABSTRACT

This research performs the analysis of concrete mixtures with coal, based on laboratory tests and trials, for lighten the structures of the buildings to be implemented in the Coffee region, specifically in the city of Pereira.

The research was done with the help of various sources, including internal documents of the Libre University Sectional Pereira, literature review, observations and laboratory tests, within which are the characterization of aggregates and coal, developing namely samples and compression tests and Young modulus of elasticity.

This favors the formulation of conclusions, which aim to help obtain an overview of current conditions, so that decisions determining the efficiency of the mixture are taken; according to these results it can be inferred that the hypothesis does not meet the parameters established by means of research, due to the decrease in resistance with increasing percentage addition of coal.

This analysis helps to make findings engineering to reduce the risks from earthquakes and reduce the cost of the concrete mix.

Palabras claves: concreto, carbón mineral, módulo de elasticidad.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación tiene como principal propósito de estudio y análisis de las mezclas de concreto con carbón mineral como aditivo, de esa manera se procede a identificar las características y propiedades que dicho material le puede generar a la mezcla; estableciendo las ventajas y desventajas para su uso en las edificaciones, teniendo en cuenta el cumplimiento de los parámetros sismo-resistentes estipulados en la Norma Colombiana NSR-10.

En la investigación se plantea la adición del carbón mineral como un material que puede mejorar las propiedades de resistencia vs peso de la mezcla de concreto en comparación con una mezcla de concreto tradicional. Obteniendo resultados positivos, cuantificables en pruebas de resistencia a la compresión, y establecer un gran impacto social debido a que su uso es más beneficioso por cuestión económica al aplicarse esos parámetros en los proyectos de vivienda de interés social.

Actualmente, el programa de Ingeniería Civil a través del semillero de materiales, realiza ensayos con diferentes materiales usados como aditivos y que en un momento dado puedan constituirse como alternativas en los procesos constructivos.

Básicamente se trata de mezclar esos materiales en diferentes proporciones para saber cuál de ellas presenta los mejores resultados respecto de la resistencia, del peso.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La investigación se desarrolla como respuesta a las problemáticas planteadas en los siguientes ítems

2.1 Planteamiento

El hombre ha intentado neutralizar los efectos que se producen en la naturaleza, con un sinnúmero de procesos investigativos. En el campo constructivo siempre se requiere obtener estructuras más firmes y resistentes que puedan minimizar los daños que provengan de un sismo, fenómeno natural cuya ocurrencia es imposible de predecir, así como la magnitud y la forma en que se afectan las estructuras que constituyen en gran medida el desarrollo de la sociedad.

Los sismos además de generar un movimiento vibratorio, pueden inducir una serie de efectos como deformaciones y rupturas no solo en las estructuras, sino también en el terreno, que pueden ser más perjudiciales que la falla de una estructura, debido a que actúan en mayor escala.

Colombia a lo largo de su historia ha sido afectada por sismos con epicentros al exterior del país desde Ms 8,8 (sismo de 1906 en Esmeraldas, Ecuador) y 7,8 (sismo de 1882 en el norte de Panamá) que han tenido grandes efectos en Colombia y sismos dentro del territorio nacional desde Ms 8,1 (sismo de 1979 en Tumaco, Nariño) y de 7,2 (sismo de 1992 en Murindó, Chocó-Antioquia), sin embargo los estudios de amenaza sísmica del país surgieron a raíz del terremoto de Popayán en 1983, cuando se iniciaron estudios sistemáticos a nivel nacional y regional, en los cuales los estudios históricos han hecho aportes importantes (Espinoza, 2003), por lo que desde hace poco se lleva un registro más completo de los efectos de los sismos en el territorio Colombiano.¹

Sin embargo uno de los más catastróficos fue el terremoto de 1999, cuyo mayor impacto lo sufrió el Eje Cafetero Colombiano; afectando el 10% de las viviendas en Pereira, aunque su epicentro estaba en el departamento del Quindío.

La preocupación actual radica en que las estructuras construidas desde el año 1999 hacia atrás presentan un desgaste natural pues resultaron afectadas por el sismo y aún más la mayoría de ellas no presentó ninguna restauración; según el ingeniero civil especialista en construcción Mario Delgado “Las edificaciones que no sufrieron grandes daños en el terremoto del 1999 no se pueden comparar con

¹ Viloria Ahumada, Pilar Sofía. INVENTARIO DE SISMOS HISTORICOS EN COLOMBIA QUE HAN GENERADO MOVIMIENTOS EN MASA. Universidad Nacional de Colombia.

las construcciones desde el año 2000 que fueron hechas con el código de sismo resistencia. La ciudad del 1999 hacia atrás ya tiene un porcentaje alto de estructuras fallidas, el mismo sismo del 1999 las debió dejar ya falseadas porque muchos no tuvieron una reconstrucción estructural”.

De allí radica la importancia de esta investigación, que pretende dar una mejora en los materiales empleados en la construcción, puntualmente al concreto, con un aditivo como el carbón mineral, que le pueda generar mayores propiedades de resistencia y firmeza, para mitigar los efectos catastróficos de los sismos y así contribuya al desarrollo y a la sostenibilidad social.²

² Ibídem página 16.

3. JUSTIFICACIÓN

Es necesario analizar un método para aligerar las estructuras de las construcciones que se implementen en la región del Eje Cafetero, específicamente en la ciudad de Pereira, para lograr disminuir los efectos y riesgos a los que se ven expuestas las personas, producidos por los sismos.

Siendo el carbón mineral un material con usos muy importantes en la producción de electricidad, la producción de acero, la fabricación de cemento y otros procesos industriales³, este proyecto se enfoca en el análisis de la viabilidad del uso de este material como aditivo en las mezclas de concreto, para esto es necesario comparar las resistencias del concreto con este aditivo contra un concreto de mezcla tradicional contemplado en la norma NSR-10 y poder definir su aplicabilidad. Obteniendo una mejora en la mezcla del concreto se puede generar un impacto social en cuanto al costo de este para su implementación en proyectos de vivienda de interés social.

El carbón mineral a lo largo de la historia ha sido un material muy importante para el hombre, inclusive siempre ha sido utilizado para la fabricación del cemento. Colombia es uno de los países a nivel mundial gran productor de carbón mineral por lo que en este proyecto se ha decidido trabajar con este material, además en términos sociales puede ser una alternativa a la construcción de viviendas de interés social debido a la facilidad de transporte que puede ser un hecho para aumentar la posibilidad de este tipo de proyectos en la ciudad.

³ Instituto Mundial del Carbón, el carbón como recurso una visión general del carbón. World Coal Institute.

4. OBJETIVOS

Los siguientes son los objetivos de la investigación.

4.1 Objetivo general

Determinar mezclas de concretos con carbón mineral, con el fin de obtener un material que tenga mejor o igual resistencia que un concreto diseñado para la misma aplicación.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a la compresión y el Modulo de Elasticidad de Young de las mezclas estudiadas.
- Comparar los resultados con la mezcla base de estudio.

5. HIPÓTESIS

Aligerar el concreto con el carbón mineral para obtener una mejora en las propiedades de la mezcla, como el de la resistencia a la compresión además de cumplir los parámetros de resistencia estipulados en la norma NSR-10 para un concreto estructural.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 Marco de Antecedentes

La historia del cemento a base de cenizas no es nueva, data hacia el año 400 a.C. cuando los romanos hicieron uso de las cenizas volcánicas para producir dicho elemento y construir sus grandes obras.

Después de esto hubo un largo tiempo donde se olvidó esta manera práctica e ingeniosa, hasta que el año 1576 un hombre llamado Smeaton empleo de nuevo esta técnica. Con el paso del tiempo, algunos hombres empezaron a experimentar con la quema de cal, hasta que el maestro de obras Joseph Aspdin logro patentar en 1824 la fórmula del cemento, denominado Portland.

- **Agencia iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología.**
En la ciudad de México, la agencia ID/DICYT encontró alternativas para aprovechar las cenizas volantes producidas en la generación de electricidad a partir del carbón mineral.
Según ellos, este material podría añadirse a cementos y concretos para dotarlos de mayor resistencia y un menor peso.

Este desecho de la producción de electricidad se caracteriza por estar constituido por esferas con un centro hueco o de baja densidad, lo cual las hace muy ligeras y fáciles de incorporar. “El hecho de que el cemento pese menos es muy útil en la industria de la construcción”, considero el Dr. José de Jesús Pérez.⁴

Cabe señalar que esta línea de investigación inicio en 2006 como respuesta a una convocatoria del Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía CFE-Conayct.

- **Facultad de Minas en Ingeniería, Universidad Nacional (Sede Medellín).**
Investigadores de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional en Medellín, se encuentran trabajando en la producción de un cemento con residuos de las cenizas de carbón, una alternativa que ellos definen como viable para hacer fusiones con el cemento Portland que es el que más se utiliza en obras civiles, procurando un material de hormigón menos contaminante.

El cemento Portland genera un gasto energético y un grado de contaminación en cuanto a la expulsión de CO₂ cercano al 7%, que se debe utilizar a una temperatura de 1450 en un horno, gracias a la mezcla de cenizas del carbón, podrá ser producido a temperatura ambiente.

⁴ Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología DICYT, <http://www.dicyt.com/>.

- **Universidad del Valle, Agencia universitaria de periodismo científico.**

Utilización de desechos del carbón: Construir a partir de las cenizas.

Los residuos sólidos del carbón, tradicionalmente llamados cenizas, pueden aprovecharse en la producción de materiales para la construcción, sostiene un estudio de la Universidad del Valle. El empleo de las cenizas en la elaboración de cementos y ladrillos, se constituye en una alternativa para evitar el deterioro del medio ambiente.

Si Colombia aprovechara en la industria de la construcción, las 800 mil toneladas de cenizas que desechan anualmente las termoeléctricas del país, se contribuiría a evitar el deterioro del medio ambiente. La utilización de las cenizas en las fábricas de cemento para la producción concreto y ladrillo, evitaría que permanezcan en los depósitos de las termoeléctricas. "Allí son amontonadas y ubicadas al aire libre, lo que es peligroso porque su contacto con el agua, el suelo o el aire, genera graves problemas de contaminación".⁵

Las zonas aledañas a las termoeléctricas que presentan mayor deterioro ambiental se encuentran ubicadas en Paipa, Zipaquirá, Guajira y Tasajero; en estas regiones no existe ningún control técnico para el almacenamiento de los residuos sólidos del carbón.

En países como Inglaterra, Francia, Alemania y Estados Unidos, ya se emplean las cenizas en la producción de cementos. Sin embargo, en Colombia este enfoque es nuevo porque hay poco conocimiento sobre las aplicaciones de los residuos de carbón y sus posibilidades de comercialización.

Esa es precisamente la propuesta planteada por la investigación realizada en la Universidad del Valle, para que las empresas de generación eléctrica que funcionan con base en carbón, procesen las cenizas para venderlas posteriormente a las fábricas de materiales para la construcción.⁶

- **Universidad de Antioquia, Estériles del carbón y su uso en concreto hidráulico para pavimentos**

Colombia tiene una gran producción de carbón y por ende genera desechos como por ejemplo el estéril del carbón. Se parte de la realidad minera y ecológica del municipio de Samacá, Vereda La Chorrera, donde se encuentra la mina "Los Arrayanes", con una producción de 823,5 toneladas de estéril anual.

⁵ Alejandro Salazar, investigador de la Universidad del Valle, y director del primer estudio realizado en el país sobre el manejo y posibilidades de uso de las cenizas.

⁶ Utilización de desechos del carbón: Construir a partir de las cenizas. Gloria Lucia Cárdenas, AUPEC.

El trabajo de investigación de la Universidad de Antioquia tiene como importancia dar solución al impacto ambiental producido por los desechos estériles en la explotación de minas de carbón. El estéril del carbón, al ser desechado en las zonas aledañas de la mina contamina el aire, ya que contienen compuestos como lo son el dióxido de silicio, óxido ferroso y aluminio.

Estos generan problemas respiratorios a quienes lo inhalan. Paralelo a esto, el estéril dejará de ocupar grandes espacios impidiendo el impacto visual que este genera al municipio y evitando la degradación que el estéril del carbón produce al tener propiedades mínimas orgánicas, lo cual impide el posterior uso de espacios para agricultura, ganadería, silvicultura, agricultura, entre otros.

Así pues, se le da un buen uso de estos residuos de la explotación minera a través de la curación de un diseño de mezcla de concreto más económico pero igualmente resistente, con ayuda del estéril de carbón como agregado en la mezcla de concreto hidráulico. Se efectuó el diseño de mezcla para una resistencia de 2000 psi y de allí se partió para variar los porcentajes.

Posteriormente se consideraron porcentajes posibles de estéril como agregado grueso o fino, para la obtención de las resistencias. Con las diferentes proporciones de agua, cemento, arena, grava y estéril se elaboraron las probetas de ensayo y éstas se fallaron a compresión. Estas mezclas también serán sometidas a ensayos de asentamiento. Así se cumple con el objetivo de obtener la dosificación óptima, a partir del establecimiento de las resistencias a compresión, módulo de rotura y asentamientos, en las mezclas de concreto hidráulico, utilizando el estéril de carbón proveniente de la mina "Los Arrayanes", como un porcentaje del agregado grueso y fino en pavimentos rígidos. Como se puede ver, este proyecto puede ser la solución al desaprovechamiento de los estériles provenientes de la explotación en las minas del carbón, además de ayudar al medio ambiente y a la comunidad, puesto que al mejorar las vías se aporta al desarrollo económico y a la calidad de vida inicialmente de los habitantes de la ciudad Tunja y Samacá.

Aunque los resultados de resistencia a compresión y módulo de rotura fueron positivos, es necesario estudiar la durabilidad de las mezclas de concreto expuestas en este estudio para determinar su utilización en losas de pavimentos rígidos y demás construcciones en las que se puedan aplicar este estudio. Para así, encontrar la aplicabilidad del proyecto ya que si responde de forma positiva se mejora el impacto ambiental.⁷

⁷ Revista Colombiana de Materiales, Universidad de Antioquia. Edición especial artículos cortos.

6.2 Marco Conceptual

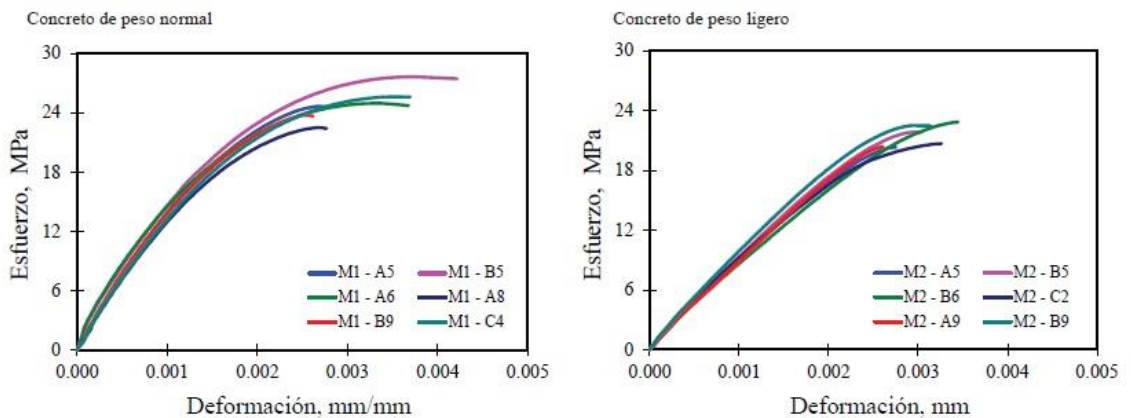
6.2.1 Determinación de la resistencia del concreto

Para una determinada mezcla de concreto es necesario determinar su resistencia a la compresión, y así estipular sus posibles aplicaciones y establecer si es factible o no su uso dentro de algunas obras.

Para determinar la resistencia última a la compresión del concreto es necesario graficar el diagrama de esfuerzo-deformación unitaria que es obtenido a partir de la realización del ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 673).

El comportamiento del concreto sometido a compresión da normalmente como resultado una línea recta dentro de la gráfica de esfuerzo-deformación, mostrando como punto más alto el esfuerzo último para dicho concreto, después de alcanzado dicho punto el concreto será capaz de seguir soportando cargas, sin embargo a partir de allí el comportamiento de la gráfica ya no presenta una tendencia lineal, presentando variaciones significativas, por lo que no es confiable aplicar cargas por encima de este punto.

Figura 1. Curvas características esfuerzo-deformación del concreto en compresión.



Fuente: Graficas esfuerzo deformación obtenidas en la investigación Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo llevada a cabo en México.

6.2.2 Aditivos comunes del concreto

Un aditivo es un material diferente a los normales en la composición del concreto, es decir es un material que se agrega inmediatamente antes, después o durante la realización de la mezcla con el propósito de mejorar las propiedades del concreto, tales como resistencia, manejabilidad, fraguado, durabilidad, entre otras.

En la actualidad, muchos de estos productos existen en el mercado, y los hay en estado líquido, sólido, en polvo y pasta. Aunque sus efectos están

descritos por los fabricantes, cada uno de ellos deberá verificarse cuidadosamente antes de usar el producto, pues sus cualidades están aún por definirse.

Los aditivos más comunes empleados en la actualidad pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Inclusores de aire:** Es un tipo de aditivo que al agregarse a la mezcla de concreto, produce un incremento en su contenido de aire provocando, por una parte, el aumento en la manejabilidad y en la resistencia al congelamiento y, por otra, la reducción en el sangrado y la segregación.
- **Fluidizantes:** Estos aditivos producen un aumento en la fluidez de la mezcla, o bien, permiten reducir el agua requerida para obtener una mezcla de consistencia determinada, lo que resulta en un aumento de la manejabilidad, mientras se mantiene el mismo revenimiento. Además, pueden provocar aumentos en la resistencia tanto al congelamiento como a los sulfatos y mejoran la adherencia.
- **Retardantes del fraguado:** Son aditivos que retardan el tiempo de fraguado inicial en las mezclas y, por lo tanto, afectan su resistencia a edades tempranas. Estos pueden disminuir la resistencia inicial. Se recomienda para climas cálidos, grandes volúmenes o tiempos largos de transporte.
- **Acelerantes de la resistencia:** Estos producen, como su nombre lo indica, un adelanto en el tiempo de fraguado inicial mediante la aceleración de la resistencia a edades tempranas. Además, pueden disminuir la resistencia final.
- **Estabilizadores de volumen:** Producen una expansión controlada que compensa la contracción de la mezcla durante el fraguado. Se recomienda su empleo en bases de apoyo de maquinaria, rellenos y resanes.
- **Endurecedores:** Son aditivos que aumentan la resistencia al desgaste originado por efectos de impacto y vibraciones. Reducen la formación de polvo.⁸

⁸ Formación complementaria prevención, mantenimiento y construcción de obras de arte para vías SENA. Oswaldo Hurtado Figueroa.

6.2.3 Agregados

Los agregados también llamados áridos, son un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites estipulados en la Norma Técnica Colombiana NTC-174. Los agregados pueden constituir hasta las tres cuartas partes en volumen de una mezcla de concreto.

6.2.3.1 Agregado Fino

El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una mezcla de esta, que pasa por el tamiz 9.51 mm (3/8) y queda retenido en el tamiz N° 200 que cumple con los límites establecidos en la NTC 174.

Los agregados finos deben estar compuestos de partículas limpias de perfil angular duras, libres de materia orgánica y otras sustancias dañinas; lo cual es determinado mediante los ensayos estipulados en la norma ASTM C40, así mismo debe estar graduado dentro de los límites dados en la norma NTC 174.

Figura 2. Agregado fino (arena).



Fuente: RCM Plantas Agregados.⁹

6.2.3.2 Agregado Grueso

El agregado grueso debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada o escoria de alto horno enfriada al aire o una combinación de ellos, material que es retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4), conforme a los requisitos de la NTC 174.V

Debe estar conformado por partículas limpias, de perfil preferiblemente angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferiblemente rugosa, además deben ser partículas químicamente

⁹ RCM Plantas Agregados.

estables y libres de escamas, tierra, polvo, limo, materia orgánica, entre otras sustancias dañinas.

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta por metro cúbico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado módulo de finura, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable que se logra uniéndolos con cemento y agua (pasta). Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla.

Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la mezcla debe cubrir totalmente la superficie de los agregados. Si se fractura una piedra, se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies sin haberse modificado el peso total de piedra.

Por la misma razón, los agregados de menor tamaño tienen una mayor superficie para lubricar y demandarán mayor cantidad de pasta. En consecuencia, para elaborar concreto es recomendable utilizar el mayor tamaño de agregado compatible con las características de la estructura.

La textura del material, dice que tan lisa o rugosa es la superficie del material, es una característica ligada a la absorción, pues agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos, además que producen concretos menos plásticos.

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla, y en la economía.

Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación). Llegado este caso se suele decir que el concreto es "áspero", "pedregoso" y "poco dócil".

En el concreto fresco, es decir recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la mezcla con cemento tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino (arena).

La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias.

Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas al mismo costo.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la mezcla del cemento.

6.2.4 Carbón Mineral

El carbón mineral a usar en este proceso de investigación, es extraído de la Mina Pribbenow, proyecto La Loma de propiedad Drummond Company Inc. ubicado en La Loma, Cesar.

La mina Pribbenow es un depósito de excelentes condiciones geológicas, donde se conjugan una serie de elementos que han contribuido enormemente al éxito de la operación minera en Colombia. Tiene once mantos de gran espesor, de uno a doce metros, de un carbón de excelente calidad, de poco contenido de azufre (0,35 por ciento) y bajas relaciones de descapote (en promedio seis metros cúbicos de material estéril por cada tonelada de carbón).

Figura 3. Mina Pribbenow.



Fuente: Revista Drummond, 10 años de buena energía en Colombia.

6.2.4.1 Origen del carbón mineral en Colombia, La Loma (Cesar)

Hace unos 50 millones de años, en un periodo llamado Terciario Paleoceno, en el área de la cuenca del Cesar, cuando no existían ni la Sierra Nevada de Santa Marta ni la Serranía del Perijá, el antiguo río Magdalena que desemboca en el mar formando un delta gigante ocupaba áreas que llegaban inclusive hasta el Golfo de Maracaibo.

En este gigantesco delta se desarrolló abundante vegetación de tipo manglar, propias de las zonas bajas tropicales. Esas plantas, como seres orgánicos, estaban compuestas principalmente de combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno. Al morir, debido a la acción de diversos microbios, sufrieron un proceso natural de descomposición en el que perdieron hidrogeno y oxígeno, lo que permitió acumular depósitos en forma de capas con un elevado porcentaje de carbono. A estos depósitos se les llaman turberas.

Con el paso del tiempo, la arena, el lodo y otros materiales fueron acumulándose sobre las turberas ejerciendo presión sobre ellas. Esta presión de enterramiento, y el calor propio de la profundidad o producto de condiciones tectónicas, produjeron un fenómeno de maduración de dicha materia orgánica denominado “carbonificación”, en el que la turba se convirtió en lo que se conoce hoy como carbón.

¹⁰

6.2.4.2 Clasificación del carbón mineral

Dependiendo de las condiciones en las que se haya presentado el proceso de carbonificación se califica el rango del carbón y demás elementos y componentes de este mineral, como el porcentaje de humedad, el contenido de azufre, nitrógeno, ceniza u otros que caracterizan y determinan la calidad del carbón.

¹⁰ Ibid., pág. 31

El principal factor que determina la calidad del carbón está directamente relacionado con su poder calorífico y a su vez con su proporción de contenido de carbono. De esta manera los tipos de carbón se pueden calificar de menor a mayor contenido de carbono así: turbas, lignitos, subbituminosos, bituminosos térmicos, bituminosos coquizables y antracitas.

Dadas las condiciones de sedimentación, el carbón se encuentra en forma de capas o mantos intercalados con otros tipos de rocas como areniscas o arcillolitas. Para efectos de la minería, estas intercalaciones entre mantos de carbón explotables se denominan material estéril.

Dependiendo de las características de las formaciones geológicas, la explotación del carbón puede llevarse a cabo mediante minería subterránea (en la que se extrae solo el carbón) o mediante minería a cielo abierto (en el que se extrae el mineral y el material estéril asociado). Este último tipo de explotación permite generalmente mayores volúmenes de producción a un menor costo.

Figura 4. Carbón mineral.



Fuente: Revista Drummond, 10 años de buena energía en Colombia.

6.3 Marco Teórico

6.3.1 Parámetros de Resistencia del Concreto

La resistencia a compresión del concreto varía según los siguientes parámetros:

- La relación agua-cemento (A/C): Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida. La relación agua/cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua/cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

- **Tamaño máximo del agregado:** El tamaño del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma del elemento de concreto.
- **Condiciones de humedad durante el curado:** El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada. Sin un adecuado suministro de humedad, los materiales cementantes en el concreto, no pueden reaccionar para formar un producto de calidad.
- **Edad del concreto:** El tiempo de curado del concreto es fundamental para garantizar que se eviten problemas en la resistencia proyectada del concreto, el tiempo óptimo está considerado en 28 días.
- **Cantidad aditivo:** El porcentaje de aditivo a agregar a la mezcla será relativo.

Un ensayo de resistencia debe ser el resultado del promedio de resistencia de 2 cilindros tomados de una misma mezcla y ensayados a los 28 días, el nivel de resistencia para cada clase de concreto se considera satisfactorio si cumple simultáneamente los siguientes requisitos:

- a) Que los promedios aritméticos de todo los conjuntos de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia a la compresión, igualen o excedan el valor especificado para F^c (esfuerzo de diseño).
- b) Que ningún resultado individual de las pruebas de resistencia a la compresión (promedio de al menos dos cilindros), sea inferior a F^c en más de 3,5 MPa.

6.3.2 El carbón como utilidad

El carbón ha sido una fuente de energía desde hace miles de años y ha sido comercializado internacionalmente desde la época del Imperio Romano. Su principal utilidad es la generación de calor, tanto en procesos constructivos, residencias y usos comerciales, como para su transformación en energía eléctrica.

Muchos países dependen actualmente del carbón como fuente de aprovisionamiento de energía debido a características favorables como:

- **Abundancia:** el carbón es el combustible fósil con mayores reservas en el mundo.

- Seguridad: el carbón es el combustible fósil más seguro tanto para su transporte como para su almacenamiento y utilización.
- Precio: la abundancia garantiza la seguridad de los suministros del recurso a precios competitivos.
- Impacto ambiental: con las tecnologías disponibles, puede quemarse el carbón limpiamente en todo el mundo.¹¹

6.3.3 Actualidad del carbón colombiano

Frente a la creciente demanda de energía en el mundo y en comparación con los demás combustibles fósiles, el carbón colombiano tiene perspectivas interesantes, dada la magnitud de sus reservas, su poder calorífico y sus niveles de azufre y cenizas.

De acuerdo con los datos del World Coal Council, Colombia registraba en 2002 unas reservas probadas de carbón de 6267 millones de toneladas¹², lo que representa cerca del 80 por ciento de las reservas probadas de Suramérica. Partes de estos yacimientos se encuentran en zonas de montaña y su explotación se debe hacer mediante minería subterránea, pero debido a la forma artesanal como son explotadas, la mayoría de estas minas no llegan a tener una producción de mil toneladas al año.

La casi totalidad del carbón de Colombia está ubicado al norte del país, en los departamentos de Guajira y Cesar.

6.3.4 Definiciones

- **Antracitas:** Es el carbón mineral más metamórfico y el que presenta mayor contenido en carbono. Es de color negro a gris acero con un lustre brillante.
- **Bituminosos:** Es un carbón relativamente duro que contiene betún, entre el lignito y la antracita en la serie ligno-hullera. Suele ser de color negro, a veces marrón oscuro, presentando a menudo unas bandas bien definidas de material brillante y mate. Las vetas de carbón bituminoso se identifican estratográficamente por la distintiva secuencia de bandas brillantes y oscuras.¹³
- **Cemento Portland:** Es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada hormigón. Es el más usual en la construcción y es utilizado como aglomerante para la preparación del concreto. Como

¹¹ *Ibid.*, pág. 33.

¹² World Coal Association, <http://www.worldcoal.org/>

¹³ Interpacifico Comercializadora Internacional. Portafolio detail.

cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.¹⁴

- **Coefficiente de Poisson:** Es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.¹⁵
- **Combustible fósil:** Los combustibles fósiles son tres: petróleo, carbón y gas natural, y se formaron hace millones de años, a partir de restos orgánicos de plantas y animales muertos. Durante miles de años de evolución del planeta, los restos de seres que lo poblaron en sus distintas etapas se fueron depositando en el fondo de mares, lagos y otros cuerpos de agua. Allí fueron cubiertos por capa tras capa de sedimento. Fueron necesarios millones de años para que las reacciones químicas de descomposición y la presión ejercida por el peso de esas capas transformasen a esos restos orgánicos en gas, petróleo o carbón. Los combustibles fósiles son recursos no renovables ya que no se reponen por procesos biológicos como por ejemplo la madera. En algún momento, se acabarán, y tal vez sea necesario disponer de millones de años de una evolución y descomposición similar para que vuelvan a aparecer.¹⁶
- **Concreto:** Es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos. El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava, gravilla y arena).¹⁷
- **Curado:** El curado se realiza durante el proceso de fraguado del hormigón para asegurar su adecuada humedad, adoptando las medidas oportunas durante el plazo que se establezca en las Prescripciones Técnicas, en función del tipo, clase y categoría del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente. A los cuatro días el hormigón tiene una resistencia adecuada para quitar la formaleta y el periodo de curado debe ser por 28 días para no tener problemas en la resistencia proyectada del concreto. El método ideal es usar el agua para

¹⁴ Historia del cemento Portland, ARQUYS Arquitectura.

¹⁵ Ligia María Vélez moreno, Materiales industriales teoría y aplicaciones.

¹⁶ Dulce María Andrés Cabrerizo, Francisco Javier Guerra Perlado; Ciencias aplicadas II.

¹⁷ Tecnología de los materiales, Escuela de Ingeniería Civil – La Merced.

ayudar a la hidratación de la pasta de cemento. Se puede proceder a retener la humedad mediante un material protector adecuado o mediante riego controlado, evitando producir deslavado. El curado debe durar hasta que, como mínimo, el hormigón haya alcanzado el 70% de la resistencia de proyecto.

- **Epicentro:** Es el punto en la superficie de la Tierra que se encuentra sobre la proyección vertical del hipocentro o foco, el punto del interior de la Tierra en el que se origina un terremoto.
El epicentro es usualmente el lugar, espacio, territorio, superficie, con mayor daño y estas ondas sísmicas llegan al exterior del subsuelo y de la tierra.¹⁸
- **Fraguar:** Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos (procedentes de la reacción química del agua de amasado) con los óxidos metálicos presentes en el clínker que compone el cemento.
- **Firmeza:** consistencia o solidez que presenta la masa del suelo; esta característica está estrechamente relacionada a las estructuras que las partículas del suelo forman entre sí.
- **Grava:** Se denomina grava a las rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros. Pueden ser producidas por el ser humano, en cuyo caso suele denominarse piedra partida o caliza, o resultado de procesos naturales. En este caso, además, suele suceder que el desgaste natural producido por el movimiento en los lechos de ríos haya generado formas redondeadas, en cuyo caso se conoce como canto rodado.¹⁹
- **Hormigón:** es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.
La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las sollicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas.²⁰
- **Humedad:** Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.

¹⁸ Gran atlas de la ciencia Terremotos y Tsunamis, Encyclopedia Britannica.

¹⁹ Omela Romero, Materiales pétreos.

²⁰ Mikell P. Groover, Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas.

- **NSR-10:** El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) es una norma técnica colombiana encargada de reglamentar las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable. Fue promulgada por el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, el cual fue sancionado por el presidente Álvaro Uribe. Posteriormente al decreto 926 de 2010 han sido introducidas modificaciones en los decretos 2525 del 13 de julio de 2010, 092 del 17 de enero de 2011 y 340 del 13 de febrero de 2012.²¹
- **Resistencia:** La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las sollicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas.
- **Sismo:** Es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producido por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la ruptura de fallas geológicas. También pueden ocurrir por otras causas como, por ejemplo, fricción en el borde de placas tectónicas, procesos volcánicos o incluso ser producidos por el hombre al realizar pruebas de detonaciones nucleares subterráneas.
El punto de origen de un terremoto se denomina hipocentro.²²
- **Tamiz:** Instrumento que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunos materiales y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.
- **Turbas:** Es un material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos.

²¹ NSR-10 Norma Sismo Resistencia, Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, Colombia.

²² Enrique Bazán, Diseño Sísmico De Edificios, 2002.

6.3.5 Materiales

6.3.5.1 Carbón mineral

El carbón es un combustible fósil. Es una roca combustible, sedimentaria y de origen orgánico, compuesta principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Se formó a partir de la vegetación, que se ha ido consolidando entre otros estratos de roca y ha sido alterado por los efectos combinados de la presión y el calor a lo largo de millones de años para acabar formando las vetas de carbón.²³

6.3.5.2 Cemento

El cemento es el material de construcción más utilizado en el mundo. Aporta propiedades útiles y deseables, tales como resistencia a la compresión (el material de construcción con la mayor resistencia por costo unitario), durabilidad, acústicas y estéticas para una diversidad de aplicaciones de construcción. El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el clinker, principal ingrediente del cemento, que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento.²⁴

Figura 5. Cemento Portland, Argos.



Fuente: www.argos.co/Colombia.

6.3.5.3 Agregados

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso y fino.

- El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
- El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

²³ El carbón como recurso, una visión general del carbón
[http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/coal_resource_overview_coal_spanish\(03_06_2009\).pdf](http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/coal_resource_overview_coal_spanish(03_06_2009).pdf)

²⁴ Vicente Pérez Alamá. El concreto armado en las estructuras.

6.3.4. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es un parámetro sumamente importante que refleja la capacidad del concreto de deformarse mecánicamente, dichos conocimientos son útiles en la prevención de deformaciones excesivas, proveyendo de servicio y proporcionando el mejor diseño costo-beneficio.²⁵

El concreto no es un material eminentemente elástico.

Los resultados de las pruebas muestran que con el mayor porcentaje de carbón añadido 5% como fase secundaria y en el mayor tamaño de $\frac{1}{2}$ se obtiene el valor de E máximo, lo que está de acuerdo con la revisión de literatura encontrada al respecto,

El módulo de elasticidad del concreto, se encuentra notablemente influenciado por el contenido de agregado grueso, debido a que el módulo propio del agregado es mayor al de la pasta de cemento hidratada, por lo tanto mayor cantidad de éste, proporciona también mayor módulo de elasticidad del concreto. (A.M. Neville, 1996).

El tipo de agregado secundario, es otro factor muy importante que afecta el módulo de elasticidad del concreto endurecido. Diferentes tipos de agregado pueden tener diferentes efectos en el módulo de elasticidad. Incluso agregados del mismo tipo, pero de diferentes localizaciones, pueden tener cambios sustanciales en sus propiedades.²⁶

La porosidad y el módulo de elasticidad de los agregados también son elementos importantes en la determinación de la rigidez. Es así como Módulos de Elasticidad de materiales no porosos con alta densidad producen módulos de elasticidad extremadamente altos. La relación agua/cemento influye también en el módulo de elasticidad tanto de la pasta como del concreto. Morteros con relaciones A/C bajas ocasionan un incremento en el módulo de elasticidad del concreto.

La porosidad y el módulo de elasticidad de los agregados también son elementos importantes en la determinación de la rigidez. Es así como Módulos de Elasticidad de materiales no porosos con alta densidad producen módulos de elasticidad extremadamente altos. La relación agua/cemento influye también en el módulo de elasticidad tanto de la

²⁵ Concreto, Modulo de elasticidad. Constructor Civil.

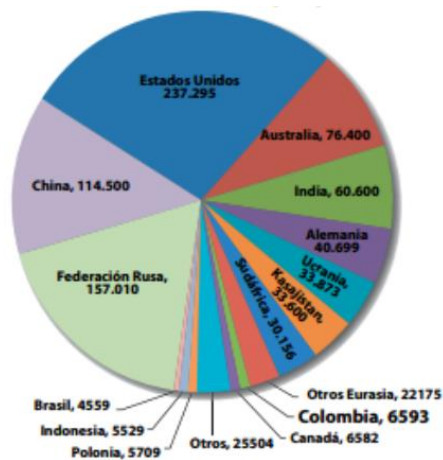
²⁶ Curso del Programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa.
Tecnología avanzada del concreto.

pasta como del concreto. Morteros con relaciones A/C bajas ocasionan un incremento en el módulo de elasticidad del concreto.²⁷

6.4 Población de estudio y muestra

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza, con 860,938 MT. Se tienen que las mayores reservas por país se encuentran en Estados Unidos con el 27,6%, la Federación Rusa el 18,2%, China el 13,3%, mientras que Colombia se ubica en el decimoprimer lugar con 6.593,4 millones de toneladas equivalentes al 0,8%.²⁸

Figura 6. Reservas mundiales de carbón (MT).



Fuente: Statical Review of World energy Full Report 2011, British Petroleum Company.

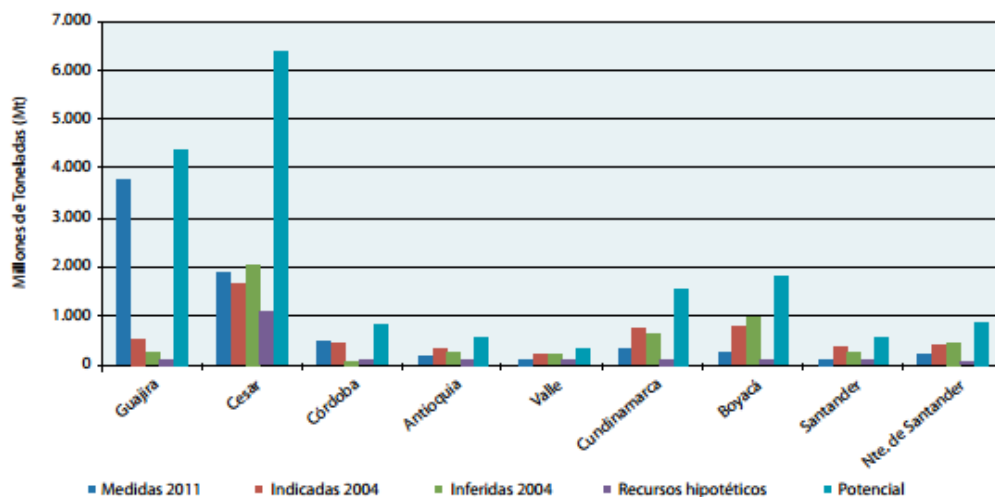
Los principales productores de carbón en el año 2010 a nivel mundial son: China, Estados Unidos e India, con producciones anuales superiores a los 100 MT. Colombia es el décimo productor mundial de carbón, con 74,35 MT. Colombia es el cuarto exportador de carbón térmico, el que en su mayor parte proviene de los departamentos de Cesar y La Guajira.

Colombia cuenta con recursos de carbón de excelente calidad, suficientes para participar en el mercado mundial por largo tiempo. Las reservas medidas son de 6.508 MT, distribuidas en las tres cordilleras: Oriental, Central y Occidental. Se ubican principalmente en la costa Atlántica donde se encuentran el 89,80% del total del carbón nacional.

²⁷ Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto. Concreto cem. Inv. Volumen 2, México 2010.

²⁸ Sistema de información minero Colombiano SIMCO <http://www.simco.gov.co/>

Figura 7. Reservas de carbón en Colombia.



Fuente: INGEOMINAS, El Carbón Colombiano – recursos, reservas y calidad.

El 95% de las reservas se ubica en los departamentos de La Guajira, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca.

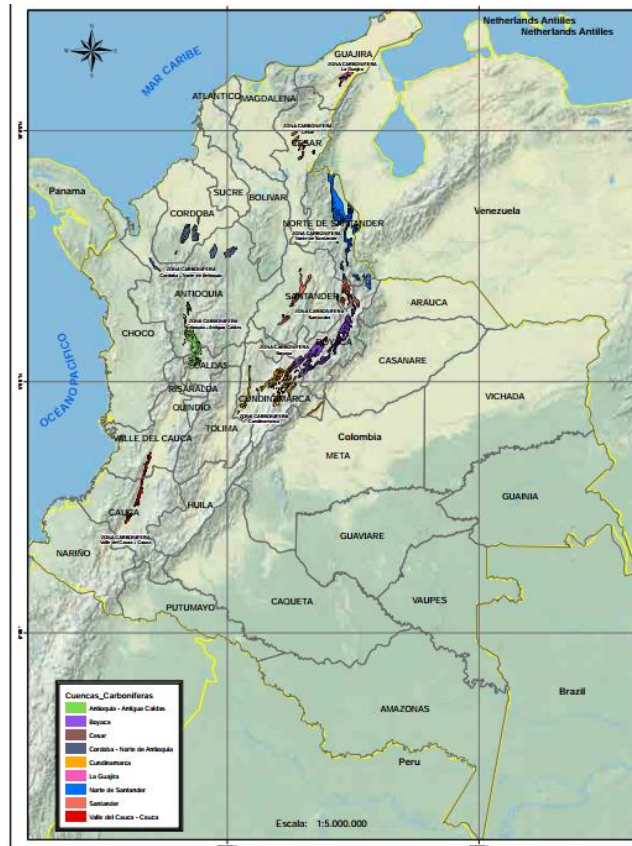
En Colombia se cuenta con 34 zonas carboníferas subdivididas en sectores, divididas de la siguiente manera:

- La Guajira:
 - El Cerrejón
 - El Cerrejón Norte
 - El Cerrejón central
 - El Cerrejón sur
- Cesar
 - La Loma
 - La Loma-El Boquerón-El Descanso
 - La Loma-Calenturitas
 - El Hatillo
 - La Jagua de Ibirico
- Córdoba – Norte de Antioquia
 - Alto San Jorge
 - Las Palmeras
 - La Escondía
 - La Guacamaya
- Antioquia – Antiguo Caldas
 - Venecia-Fredonia

- Amagá-Angelópolis
- Venecia-Bolombolo
- Titiribí
- Valle del Cauca – Cauca
 - Yumbo-Asnazú
 - Rio Dinde-Quebrada Honda
 - Mosquera-El Hoyo
- Cundinamarca
 - Jerusalem-Guataqui
 - Guaduas-Caparrapí
 - San Francisco-Subachoque-La Pradera
 - Guatavita-Sesquilé-Chocontá
 - Tabio-Rio Frio- Carmen de Carupa
 - Zipaquirá-Neusa
- Boyacá
 - Checua-Lenguazaque
 - Suesca-Albarracín
 - Tunja-Paipa-Duitama
 - Sogamoso-Jericó
- Santander
 - San Luis
 - Capitanejo-San Miguel
 - Miranda
 - Molagavita
 - Paramo de Almorzadero
- Norte de Santander
 - Chitagá
 - Muticua-Cácota
 - Pamplona-Pamplonita
 - Herrán-Toledo
 - Zulia-Chinácota
 - Catatumbo
- Llanura amazónica
 - Leticia

Teniendo una cantidad extensa de zonas carboníferas, se procede a escoger en el departamento del Cesar, en la zona La Loma, el carbón mineral para la investigación. Debido a que este material presenta características óptimas para el estudio que se va a realizar.

Figura 8. Formaciones Carboníferas en Colombia.



Fuente: Cadena del Carbón, Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.

6.5 Marco de Localización

Esta investigación se desarrolla en la ciudad de Pereira, departamento de Risaralda, por ser una zona de alto riesgo sísmico.

- Carbón mineral: este material procede de la mina Pribbenow La Loma, Cesar.
- Cemento: el utilizado es de la empresa Cementos Argos localizada en el Km 2 Vía Panamericana. El cemento a utilizar es el Portland tipo 1.
- Agregados: este material procede de Arenas y Transporte de Colombia S.A.S. Vía Roldanillo (Valle del Cauca), el Palmar.

6.6 Marco Temporal

La investigación se realizó durante el periodo 2014-2015.

6.7 Marco Legal

La investigación se apoya en las siguientes normas:

- La resistencia para el concreto estructural, así como sus demás parámetros requeridos en Colombia se encuentran estipulados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).
- El procedimiento a seguir en la elaboración de mezclas y toma de muestras para la realización de cilindros de concreto está estipulado en la norma ICONTEC N° 550.
- Las especificaciones acerca de la realización del ensayo de compresión para concretos se encuentran en la norma ICONTEC N° 673.
- Las especificaciones para la realización de los ensayos correspondientes a materiales se encuentran en la norma STC-CMT.2.1.

7. METODOLOGÍA

7.1 Metodología

Fase 1: Investigación

- Muestreo de los agregados: Primero se extrae la muestra del material, se busca que sea representativa de todo el material a utilizar para la elaboración del concreto.
- Se procede con el secado, cuarteo y disgregado del material por lo que la muestra de arena y grava se dejan sobre una superficie plana extendidos sobre el suelo para que pierdan la humedad, de ser necesario se debe usar horno. Una vez seca se revuelve la mezcla para homogenizarla. Se separan porciones equitativas del material en cuartas partes, se busca que un cuarto sea una representación compacta de las características de toda la muestra.
- Caracterización de los agregados (arenas y gravas): Por medio de los siguientes ensayos se procede a la caracterización de los materiales a emplear:
 - Análisis granulométrico: Consiste en pasar el material por las mallas correspondientes, registrar los datos de los retenidos en cada malla y proceder a determinar el módulo de finura del material. Esta prueba permite determinar la composición por tamaños de las partículas que integran los materiales.
 - Peso unitario o volumétrico: Esta prueba permite determinar las masas volumétricas de los materiales, es decir las relaciones masa/volumen en diferentes estados o condiciones de acomodo, ya sean naturales o artificiales, así como coeficientes de variación volumétrica. Procedimiento en norma SCT M.MMP.1.08/03.
 - Humedad Natural: Esta prueba permite determinar el contenido de agua en los materiales, con el fin de obtener una idea cualitativa de su consistencia o de su probable comportamiento. La prueba consiste en secar una muestra del material en el horno y determinar el porcentaje de la masa del agua, con relación a la masa de los sólidos.
 - Masa específica de la arena (densidad) y absorción de agua: Estas pruebas permiten determinar las relaciones masa-volumen de los materiales respecto a la relación masa volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o la mezcla de materiales en sus diferentes

condiciones con contenidos de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en poros. Procedimiento en la norma SCT M-MMP-1-05/03.

Fase 2: Diseño de la mezcla

Posteriormente se procede al diseño de la mezcla que consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales que ya fueron analizados, para producir un concreto que satisfaga los requisitos estipulados.

- **Tamaño máximo del agregado:** El tamaño máximo del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma de los elementos de concreto.
- **Asentamiento:** Deformación que sufrirá la mezcla al recibir una sollicitación exterior.
- **El contenido de agua:** Depende del tipo de revenimiento que se desea proporcionar además del tipo de agregado y los aditivos a incluir.
- **Contenido de cemento:** El contenido de cemento depende de la relación (A/C) y el contenido de agua necesaria para proporcionar la resistencia buscada.
- **Contenidos de grava y arena:** Se estima con relación del tipo de agregado a emplear y el tamaño máximo de estos.

Fase 3: Elaboración especímenes y pruebas compresión simple

Se realiza para el control de las características de diseño a través del ensayo de compresión aplicado a cilindros hechos con las mezclas en una proporción de 1:2 (diámetro: altura).

Una vez colados los cilindros estos son desmoldados después de 24 horas, pesados y puestos en proceso de curado, sumergiéndolos en agua hasta que estos alcanzan la edad para ser ensayados.

Fase 4: Tipo de investigación

El proyecto que se desarrolla basado en un modelo de investigación experimental debido a que es necesario realizar las pruebas de resistencia de las mezclas a analizar y descriptiva por la confrontación de los resultados obtenidos con la normatividad vigente.

Fase 5: Diseño de experimentos

Los factores de estudio para la investigación son el porcentaje de carbón utilizado como aditivo y la resistencia del concreto a utilizar.

Para cada tratamiento definido Carbón/Resistencia se realizan diez ensayos de Modulo de Elasticidad de Young y treinta ensayos de compresión, siendo requeridas tres probetas para cada momento de curado en la prueba de compresión (14 días, 21 días, 28 días).

Para determinar la magnitud de los factores a estudiar, así como la cantidad de estos se realiza una prueba piloto utilizando porcentaje de carbón en relación al peso de mezcla de 1%, 3% y 5% sobre una mezcla de concreto de resistencia media (300 Kg/cm²).

7.1.1 Recolección de información

Fuentes primarias: Las fuentes primarias se encuentran conformadas por los ensayos de laboratorio que se realizaron en las instalaciones de la Universidad Libre seccional Pereira, dichos ensayos están bajo las normas STC-CMT.2.1, y sirven para establecer los datos de la resistencia y propiedades físicas de las mezclas de concreto aligerado con carbón.

Fuentes secundarias: Las fuentes secundarias para el desarrollo de la investigación consta de: libros, bases de datos de investigaciones relacionadas con el tema del proyecto, páginas de internet, entre otros.

8. DESARROLLO Y AVANCE DE RESULTADOS

El concreto es un material capaz de soportar grandes esfuerzos a la compresión, esto depende tanto de sus propiedades físicas como sus propiedades mecánicas y químicas.

La resistencia es una de las características con las cuales los concretos deben cumplir, en estos se encuentra la resistencia a la compresión, tracción, flexión y corte; los concretos presentan una alta resistencia a la compresión y muy poco a la tracción razón por la cual siempre se presta más atención a esta.

8.1 Caracterización del carbón

8.1.2. Granulometría

Este ensayo se utiliza principalmente para determinar los tamaños del carbón que serán utilizados en las mezclas de concreto. Los resultados se emplearán para verificar con el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones requeridas para el diseño de las mezclas.

Equipos requeridos:

- Balanza
- Tamices
- Tamizadora mecánica

Con este ensayo se realizó la caracterización del carbón en función del tamaño de las partículas; con el objetivo de evaluar el grado de optimización del material en una mezcla de concreto.

Peso tara: 0,598 Kg

Peso tara + carbón: 2,000 Kg

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\sum \text{Peso retenido}} * 100$$

$$\% \text{Retenido Acumulado} = \% \text{Retenido acumulado anterior} + \% \text{Retenido}$$

$$\% \text{Pasa Acumulado} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado}$$

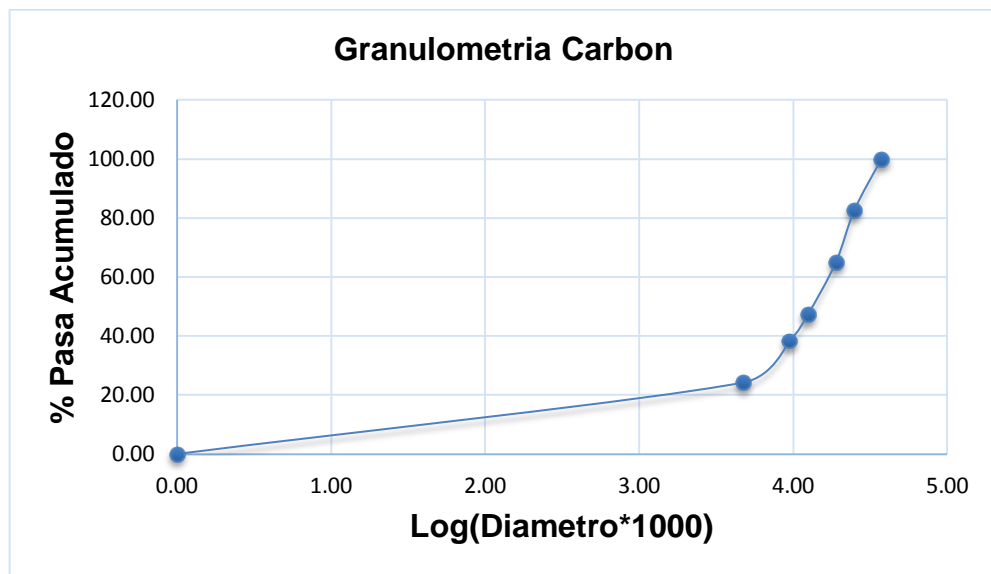
Figura 9. Granulometría del Carbón.

| Tamiz | Diámetro(mm) *1000 | Log(Diámetro* 1000) | Peso Retenido (gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Pasa acumulado |
|--------|-----------------------|------------------------|--------------------------|------------|-------------------------|---------------------|
| 1 1/2" | 37500 | 4,57 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1" | 25000 | 4,40 | 430,30 | 17,45 | 17,45 | 82,55 |
| 3/4" | 19000 | 4,28 | 433,60 | 17,58 | 35,03 | 64,97 |
| 1/2" | 12500 | 4,10 | 436,00 | 17,68 | 52,72 | 47,28 |
| 3/8" | 9500 | 3,98 | 219,10 | 8,89 | 61,60 | 38,40 |
| #4 | 4750 | 3,68 | 349,70 | 14,18 | 75,78 | 24,22 |
| Fondo | | | 597,20 | 24,22 | 100,00 | 0,00 |

2465,90

Fuente: Propia.

Figura 10. Curva Granulométrica Carbón.



Fuente: Propia.

Figura 11. Peso tara y carbón triturado.



Fuente: Propia.

Figura 12. Granulometría y tamizadora mecánica.



Fuente: Propia.

8.1.3. Densidad

Tubo para densidad = 1,672 kg
h = 23 cm = 0,23m
 \varnothing = 70,4 mm = 0,0704 m

- Peso tubo + Carbón = 2,233 K
- Peso carbón = 2,233 Kg – 1,672 Kg
Peso carbón = 0,561 Kg
- Volumen = $\frac{\pi}{4}(\varnothing)^2 h$
Volumen = $\frac{\pi}{4}(0,0704\text{m})^2 * 0,23\text{m}$
Volumen = $8,953 \times 10^{-4} \text{m}^3$
- Densidad = $\frac{\rho}{v}$
Densidad = $\frac{0,561 \text{ Kg}}{8,953 \times 10^{-4} \text{m}^3}$
Densidad = $626,605 \text{ Kg/m}^3$

Figura 13. Peso tubo para densidad con carbón y peso tubo para densidad.



Fuente: Propia.

8.2 Caracterización de los agregados

En general cuando se refiere a concretos, este se caracteriza por su pasta endurecida, por la calidad de sus agregados, la mezcla entre pasta y agregados, los cuales están ligados también a las condiciones de curado de este.

La resistencia es una de las características que los concretos deben cumplir, en estos se encuentra la resistencia a la compresión, tracción, flexión y corte; los concretos presentan una alta resistencia a la compresión y muy poco a la tracción razón por la cual siempre se presta más atención a esta.

Para poder obtener un adecuado diseño de mezcla es importante tener en cuenta la calidad de los agregados que se utilizaran para esto; lo cual da pie a la realización de una serie de ensayos para así conocer los materiales con lo que se cuenta.

8.2.1 Granulometría

Este ensayo se utiliza para determinar los tamaños de los agregados que serán utilizados en las mezclas de concreto. Los resultados se emplean para verificar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones requeridas para el diseño de las mezclas sea para agregado fino o grueso.

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a los efectos producidos en la dosificación trabajabilidad, economía porosidad, etc.

Los agregados en una mezcla ocupan entre el 59% y 76% del volumen total del concreto, los cuales están constituidos por una parte fina que es la arena y una parte gruesa: la grava o piedra triturada.

Equipos requeridos:

- Balanza
- Tamices
- Tamizadora mecánica

Por medio de este ensayo se realiza la caracterización de los agregados en función del tamaño de las partículas; con el objetivo de evaluar el grado de optimización de la cantidad de material en una mezcla de concreto.

Según los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 174 del 2000 (Especificaciones para los agregados de concretos), el material analizado debe tener la gradación necesaria para fabricar una mezcla de concreto adecuada.

8.2.1.1 Granulometría de Agregado Grueso

Peso tara = 0,976 gr

Peso tara + Agregado grueso = 1,728 gr

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\sum \text{Peso retenido}} * 100$$

$\% \text{Retenido Acumulado} = \% \text{Retenido acumulado anterior} + \% \text{Retenido}$

$\% \text{Pasa Acumulado} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado}$

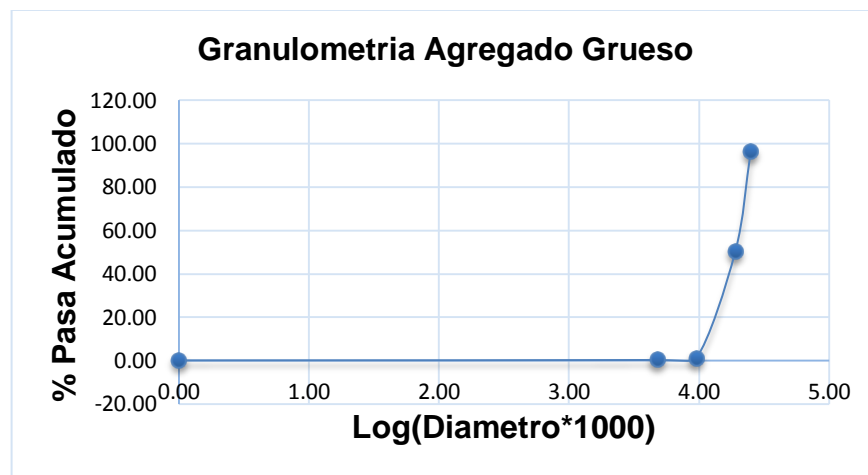
Figura 14. Granulometría Agregado Grueso.

| GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|---------------|------------------------|---------------------|
| Tamiz | Diámetro(mm)* 1000 | Log(Diámetro* 1000) | Peso retenido (gr) | % Retenido | %Retenido Acumulado | % Pasa acumulado |
| 1" | 25000 | 4,40 | 59,70 | 3,71 | 3,71 | 96,29 |
| 3/4" | 19000 | 4,28 | 743,60 | 46,25 | 49,96 | 50,04 |
| 3/8" | 9500 | 3,98 | 791,20 | 49,21 | 99,17 | 0,83 |
| #4 | 4750 | 3,68 | 10,40 | 0,65 | 99,81 | 0,19 |
| Fondo | 0 | 0,00 | 3,00 | 0,19 | 100,00 | 0,00 |

1607,90

Fuente: Propia.

Figura 15. Curva Granulometría Agregado Grueso.



Fuente: Propia.

Figura 16. Peso tara suelo grueso.



Fuente: Propia.

Figura 17. Tamizado Agregado grueso y agregado grueso.



Fuente: Propia.



8.2.1.2 Granulometría de Agregado Fino

Peso tara = 1,025 gr

Peso tara + material fino seco = 947,8 gr

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\sum \text{Peso retenido}} * 100$$

Retenido Acumulado = %Retenido acumulado anterior + %Retenido

%Pasa Acumulado = 100% – %Retenido Acumulado

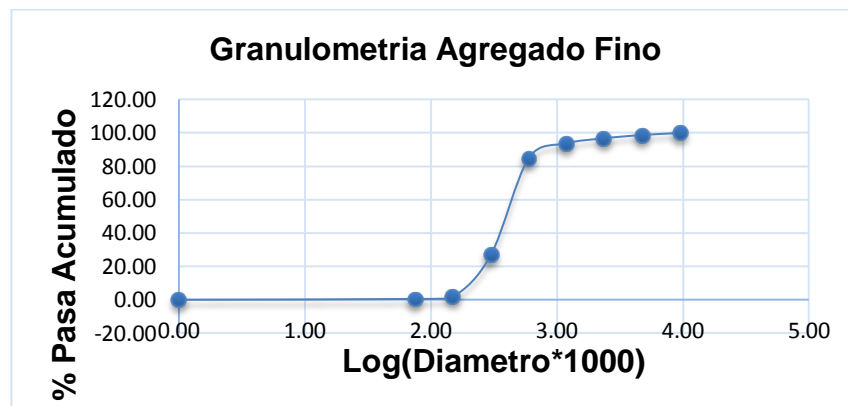
Figura 18. Granulometría Agregado Fino.

| GRANULOMETRIA AGREGADO FINO | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|---------------|------------------------|---------------------|
| Tamiz | Diámetro(mm) *1000 | Log(Diámetro* 1000) | Peso retenido (gr) | % Retenido | %Retenido Acumulado | % Pasa acumulado |
| 3/8" | 9500 | 3,98 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| No. 4 | 4750 | 3,68 | 10,00 | 1,21 | 1,21 | 98,79 |
| No. 8 | 2360 | 3,37 | 16,40 | 1,99 | 3,20 | 96,80 |
| No. 16 | 1180 | 3,07 | 25,40 | 3,08 | 6,28 | 93,72 |
| No. 30 | 600 | 2,78 | 72,20 | 8,75 | 15,03 | 84,97 |
| No. 50 | 300 | 2,48 | 479,50 | 58,11 | 73,14 | 26,86 |
| No. 100 | 150 | 2,18 | 206,20 | 24,99 | 98,13 | 1,87 |
| No. 200 | 75 | 1,88 | 11,20 | 1,36 | 99,49 | 0,51 |
| FONDO | 0 | 0,00 | 4,20 | 0,51 | 100,00 | 0,00 |

825,10

Fuente: Propia.

Figura 19. Curva Granulometría Agregado Fino.



Fuente: Propia.

Figura 20. Peso tara suelo fino.



Fuente: Propia.

Figura 21. Granulometría agregado fino y tamices.



Fuente: Propia.

Figura 22. Peso Agregado Fino para tamizado.



Fuente: Propia.

8.2.2 Resistencia al desgaste. Máquina de los Ángeles

Este método es utilizado para determinar la resistencia de agregados naturales en especial triturado, para tal fin se emplea la máquina de los ángeles con una carga abrasiva con el fin de simular los efectos a los cuales estará sometido el material en futuras condiciones.

Este ensayo es conocido y ampliamente usado por que brinda como resultado un indicador de la calidad relativa de diferentes fuentes de agregados pétreos de condiciones mineralógicas muy similares, aunque no se brindan inmediatamente comparaciones válidas entre fuentes de diferentes composiciones mineralógicas, con lo que difiere de él origen, la composición y la estructura de cada material.

El equipo consta en términos generales de un tambor cilíndrico hueco de acero con su eje horizontal a un motor, el cual genera un movimiento rotacional sobre el mismo eje, el cual produce un desgaste forzado por la acción de esferas de acero sobre el material, de esta manera se establece el desgaste de la muestra, expresada como un porcentaje de la masa inicial de la muestra ensayada. Se toman las masas antes y después del proceso de desgaste, con esta diferencia es posible determinar el porcentaje de pérdida ante el desgaste a una carga abrasiva²⁹.

Figura 23. Máquina de los ángeles.



Fuente: propia.

Materiales y equipos

- Balanza: Que permita la determinación de la masa con precisión de 0,1.
- Horno: Que pueda mantener una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Tamices: Serie de tamices entre 37.5mm y 4.75mm.
- Máquina de los ángeles: La máquina para el ensayo de desgaste de los ángeles debe tener las características indicadas e la Figura 1 encontrada en la Norma INV E 218-07.
- Carga abrasiva: Depende directamente de la granulometría, se muestra en la Tabla 1 de la Norma INV E-218-07 y oscila entre valores de 5000g y 2500g

Procedimiento

La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los ángeles y se hace girar el cilindro a una velocidad entre 30 y 33 r.p.m hasta que completar 500 revoluciones.

Se descarga de material y se separa por tamices, tomando el valor más significativo de la muestra.

²⁹ SANCHES DE GUZMAN, Diego; Tecnología del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p.

El material debe ser lavado si se presentan costras o bastante polvo y por último se mide la masa del material seleccionado.

Figura 24. Material descargado máquina de los ángeles.



Fuente: Propia.

Figura 25. Tamizado material descargado.



Fuente: Propia.

Figura 26. Máquina de los ángeles.

| | |
|------------------|--------|
| Masa Inicial (g) | 5000 |
| Masa Final (g) | 3962,5 |
| Diferencia (g) | 1037,5 |

$$\% \text{Desgaste} = \frac{\text{Masa Inicial} - \text{Masa Final}}{\text{Masa Inicial}} \times 100$$

| | |
|------------|-------|
| % Desgaste | 20,75 |
|------------|-------|

Fuente: Propia.

8.2.3 Masas unitarias

La determinación de las masas unitarias sueltas y compactas de los agregados son importantes debido a que se da a conocer el comportamiento de ellos en el momento en el cual serán usados como agregados para el concreto, gracias a este ensayo se logra saber cuánto más material se necesita para llenar los espacios vacíos que se encuentren en la mezcla. Para una buena elaboración de la mezcla de concreto es indispensable conocer el contenido de aire; esto se debe a que con un mayor contenido de aire la resistencia del concreto disminuirá notablemente.

El ensayo masas unitarias sueltas y compactas está referenciada en la norma NTC 92 en el cual se da a conocer el procedimiento de esta prueba.

Equipos requeridos:

- Balanza
- Varilla de apisonamiento
- Molde

8.2.3.1 Masas unitarias Agregado Grueso

- **Masas unitarias sueltas**

$$\emptyset_{\text{int}} = 18,03\text{cm}$$

$$\text{Altura} = 21,59\text{cm}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} \emptyset^2 h$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} (7,1\text{cm})^2 (21,59\text{cm})$$

$$\text{Volumen} = 5512,31 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso molde} = 4,16\text{Kg}$$

$$\text{Peso molde} + \text{Agregado grueso} = 11,135\text{Kg}$$

$$\text{Peso Agregado grueso} = 6,975\text{Kg}$$

$$\text{Masas unitarias} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Masas unitarias} = \frac{6975 \text{ gr}}{5512,31 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Masas unitarias} = 1,27 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Figura 27. Peso Agregado Grueso Suelto.



Fuente: Propia.

▪ **Masa unitaria compactada**

$$\phi_{\text{int}} = 18,03\text{cm}$$

$$\text{Altura} = 21,59\text{cm}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} \phi^2 h$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} (7,1\text{cm})^2 (21,59\text{cm})$$

$$\text{Volumen} = 5512,31 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso molde} = 4,16\text{Kg}$$

$$\text{Peso molde} + \text{Agregado grueso} = 12,08\text{Kg}$$

$$\text{Peso Agregado grueso} = 7,92\text{Kg}$$

$$\text{Masas unitarias} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Masas unitarias} = \frac{7920 \text{ gr}}{5512,31 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Masas unitarias} = 1,44 \text{ gr/cm}^3$$

Figura 28. Peso Agregado Grueso Compactado y agregado Grueso.



Fuente: Propia.



8.2.3.2 Masas unitarias de Agregado Fino

- **Masa unitaria suelta**

$$\phi_{\text{int}} = 18,03\text{cm}$$

$$\text{Altura} = 21,59\text{cm}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} \phi^2 h$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} (7,1\text{cm})^2 (21,59\text{cm})$$

$$\text{Volumen} = 5512,31 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso molde} = 4,16\text{Kg}$$

$$\text{Peso molde} + \text{Agregado Fino} = 10,842\text{Kg}$$

$$\text{Peso Agregado Fino} = 6,682\text{Kg}$$

$$\text{Masas unitarias} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Masas unitarias} = \frac{6682 \text{ gr}}{5512,31 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Masas unitarias} = 1,21 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

Figura 29. Peso Agregado Fino Suelto.



Fuente: Propia.

- **Masa unitaria compactada**

$$\phi_{\text{int}} = 18,03\text{cm}$$

$$\text{Altura} = 21,59\text{cm}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} \phi^2 h$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} (7,1\text{cm})^2 (21,59\text{cm})$$

$$\text{Volumen} = 5512,31 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso molde} = 4,16\text{Kg}$$

Peso molde + Agregado Fino = 11,595Kg

Peso Agregado Fino = 7,435Kg

$$\text{Masas unitarias} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Masas unitarias} = \frac{7435 \text{ gr}}{5512,31 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Masas unitarias} = 1,35 \text{ gr/cm}^3$$

Figura 30. Agregado Fino compactado y peso Agregado Fino compactado.



Fuente: Propia.

8.2.4 Densidad Específica y Porcentaje de Absorción

8.2.4.1 Agregado grueso

Unas de las propiedades físicas importantes de los agregados es la densidad; de acuerdo con este ensayo se puede decir si el tipo de agregado con el que se cuenta, tiene poros saturables como no saturables, pues dependiendo de su permeabilidad pueden estar vacíos, parcialmente saturados o cien por ciento saturados, generando así una serie de estados de humedad y densidad del material.

Equipo:

- Canastilla metálica
- Tanque con agua
- Dispositivo en suspensión
- Tamiz N° 4
- Grava sumergida en agua durante 24 horas

Procedimiento:

Se procede a hacer un cuarteo del agregado y se incorpora el agregado grueso en el tamiz N°4 eliminando todo el material pasante de este tamiz.

Posterior a esto se lleva la muestra al horno, retirándolo y se deja enfriar la muestra y se retoma a pesarla.

Se sumerge la muestra de prueba en agua durante un periodo de 24 horas, después del periodo de inmersión se debe secar la muestra con un paño.

Se determina el peso de la muestra en estado saturado y se vierte la muestra en la canasta metálica, determinando así su peso sumergido en agua.

Finalmente se saca la muestra de la canasta y se lleva nuevamente al horno entre dos y tres horas, para determinar nuevamente su peso.

Figura 31. Denominación densidad especifica agregado grueso.

| DENOMINACION | DESCRIPCION | PESO (Kg) |
|--------------|---|-----------|
| A | Masa de la muestra seca al horno | 2,964 |
| B | Masa de la muestra en estado saturado superficialmente seco (SSS) | 2,988 |
| C | Masa aparente de la muestra sumergida | 1,948 |

Fuente: Propia.

- Densidad relativa (seca al horno):

$$\frac{A}{B - C} = \frac{2,964 \text{ Kg}}{2,988\text{Kg} - 1,948\text{Kg}} = 2,85$$

Densidad del agua a 23°C es 997,5 Kg/m³

$$2,85 * 997,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 2842,875 \text{ Kg/m}^3$$

- Densidad relativa (SSS):

$$\frac{B}{B - C} = \frac{2,988\text{Kg}}{2,988\text{Kg} - 1,948\text{Kg}} = 2,87$$

Densidad del agua a 23°C es 997,5 Kg/m³

$$2,87 * 997,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 2862,825 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

- Densidad relativa aparente:

$$\frac{A}{A - C} = \frac{2,964 \text{ Kg}}{2,964 - 1,948\text{Kg}} = 2,92$$

Densidad del agua a 23°C es 997,5 Kg/m³

$$2,92 * 997,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 2912,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

- Absorción:

$$\text{Absorción}\% = \left[\frac{(B - A)}{A} \right] * 100$$

$$\text{Absorción}\% = \left[\frac{(2,988\text{Kg} - 2,964)}{2,964} \right] * 100$$

$$\text{Absorción}\% = 0,81$$

Figura 32. Agregado Grueso sumergido en el agua.



Fuente: Propia.

Figura 33. Peso Agregado Grueso Seco.



Fuente: Propia.

8.2.4.2 Agregado fino

Para un buen diseño de mezcla es necesario no solo conocer la densidad específica y el porcentaje de absorción del agregado grueso si no también el del agregado fino, debido a que estos se refieren a la forma de tomar el volumen del cuerpo de la mezcla, puesto que las partículas de los agregados para el concreto son porosas y la porosidad puede ser saturable o no saturable, lo que influye en el diseño de la mezcla y su durabilidad, factor muy importante de conocer.

La densidad aparente y específica también se usa en el cálculo de vacíos del agregado en la Norma NTC 92; para este ensayo es necesario seguir las especificaciones de I.N.V.E 222 – 07, que explican cómo se debe llevar a cabo este ensayo.

Material y equipo:

- Balanza
- Picnómetro
- Molde cónico
- Pisón

Procedimiento

Se procede a lavar el material fino en un recipiente con agua y dejándolo durante 24 horas para asegurar que el material quede totalmente saturado.

Se toma la mitad de la muestra y se procede a secarla un poco, esto se puede hacer con la ayuda de paños o periódico; hasta quedar superficialmente seca.

Después de secado el agregado se realiza el ensayo con el cono. Se introduce la muestra en el molde cónico, se apisona la muestra 25 veces dejando caer el pisón a más o menos 1cm de altura, esto se hace para comprobar si el material ensayo se encuentra superficialmente seco.

Se desmolda el molde cuidadosamente y si este se desmorona hasta más o menos 1/3 de la muestra, significa que alcanzado la condición que se requiere y no hay humedad libre.

Figura 34. Ensayo molde cónico no hay humedad libre.



Fuente: Propia.

Se pesan los picnómetros solos y se toman los registros. Se llenan parcialmente los picnómetros con agua, y se pesa nuevamente. Inicialmente se llena con agua hasta un punto en el cuello entre las marcas 0 y 1 ml. Se registra la lectura inicial cuando el frasco y su contenido están a una temperatura de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$.

Figura 35. Lectura inicial picnómetro.



Fuente: Propia.

Se añaden 100g de agregado. Después de introducir toda la muestra de agregado fino se pone el tapón en el frasco y se coloca en posición inclinada y se gira suavemente en círculos para eliminar el aire atrapado, hasta cuando no salgan burbujas de aire a la superficie. Se toma y registra la lectura final en el frasco.

Figura 36. Muestra de agregado fino dentro del picnómetro y eliminación de aire atrapado.



Fuente: Propia.

Figura 37. Lectura final en los picnómetros.



Fuente: Propia.

Figura 38. Agregado fino con agua.



Fuente: Propia.

Figura 39. Lectura final agregado fino secado en el horno.



Fuente: Propia.

Figura 40. Peso tara.



Fuente: Propia.

Figura 41. Denominación Densidad Específica Agregado Fino.

| DENOMINACION | DESCRIPCION |
|--------------|---|
| A | Masa al aire de la muestra seca al horno, g |
| B | Masa del picnómetro aforado lleno de agua, g |
| C | Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, g |
| S | Masa de la muestra saturada y superficialmente seca, g |

Fuente: Propia.

- Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno: se calcula sobre la base del agregado secado al horno, así:

$$SH = \frac{A}{(B + S - C)}$$

- Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS): se calcula sobre la base del agregado en condición saturada y superficialmente seca, así:

$$SSS = \frac{S}{(B + S - C)}$$

- Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente): se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

- Absorción: Se calcula, en porcentaje, con la expresión:

$$\text{Absorción \%} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Reemplazando los resultados de la prueba de laboratorio en las formulas anteriores, se obtienen los siguientes valores:

Figura 42. Densidad específica Agregado Fino.

| | |
|----------------------|-----|
| Peso muestra (g) (S) | 100 |
|----------------------|-----|

| Picnometro + Agua | | Picnometro + Agregado Fino | |
|-------------------|-------|----------------------------|-------|
| Agua 1 (g) (B) | 329,1 | Muestra 1 (g) (C) | 392,2 |
| Agua 2 (g) (B) | 329,1 | Muestra 2 (g) (C) | 392,4 |
| Agua 3 (g) (B) | 329,1 | Muestra 3 (g) (C) | 391,8 |

| | Agregado Fino Seco | | |
|------------|--------------------|------------------|---------------|
| | Peso tara | Peso seco + Tara | Peso Seco (A) |
| Tara 1 (g) | 107,7 | 205,6 | 97,9 |
| Tara 2 (g) | 107,7 | 205,8 | 98,1 |
| Tara 3 (g) | 107,7 | 205,6 | 97,9 |

| Muestra | Densidad Relativa Seca | Densidad Relativa (SSS) | Densidad relativa aparente | Absorción (%) |
|----------|------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | 2,65 | 2,71 | 2,81 | 2,15 |
| 2 | 2,67 | 2,72 | 2,82 | 1,94 |
| 3 | 2,62 | 2,68 | 2,78 | 2,15 |
| Promedio | 2,65 | 2,71 | 2,80 | 2,08 |

Fuente: Propia.

9. DOSIFICACIÓN

Las proporciones básicas de una mezcla de concreto para una resistencia de 21 MPA que cumpla con las características empleando los materiales analizados; se determinan de la siguiente manera:

Características de los materiales

- Agregado grueso

Densidad aparente seca (Gg) = 2,84 gr/cm³

Tamaño máximo nominal (TMN) = 3/4"

Porcentaje de absorción (%ABSg) = 0,81%

Masa unitaria suelta (MUSg) = 1,27 gr/cm³

- Agregado fino

Densidad aparente seca (Gg) = 2,65 gr/cm³

Módulo de finura (MF) = 2,97

Porcentaje de absorción (%ABSg) = 2,08%

Masa unitaria suelta (MUSg) = 1,21 gr/cm³

Con el ajuste granulométrico de una gradación ideal según los recomendados por ASOCRETOS se obtuvo:

- Agregado fino = 42%
- Agregado grueso = 58%

- Cemento

Densidad (Gc) = 3,1 gr/cm³

Masa unitaria suelta (MUSc) = 1,13 gr/cm³

- Agua

Densidad (Ga) = 1,0 gr/cm³

Masa unitaria suelta (MUSa) = 1,0 gr/cm³

9.1 Selección del asentamiento

Según la figura 43 y de acuerdo al tipo de material a analizar en este caso losas, columnas y cimentaciones, el asentamiento escogido es de 7,0 cm.

Figura 43. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

| CONSISTENCIA | ASENTAMIENTO mm. | EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN | SISTEMA DE COLOCACIÓN | SISTEMA DE COMPACTACIÓN |
|------------------|------------------|--|--|--|
| MUY SECA | 0,0 – 20 | Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación. | Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados). | Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión. |
| SECA | 20-35 | Pavimentos. | Pavimentos con máquina terminadora vibratoria. | Secciones sujetas a vibración intensa. |
| SEMISECA | 35-50 | Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas. | Colocación con máquinas operadas manualmente. | Secciones simplemente reforzadas con vibración. |
| MEDIA (PLÁSTICA) | 50-100 | Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones. | Colocación manual. | Secciones simplemente reforzadas con vibración. |
| HUMEDA | 100-150 | Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados. | Bombeo. | Secciones bastante reforzadas con vibración. |
| MUY HÚMEDA | 150-200 | Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ". | Tubo-embudo-tremie. | Secciones altamente reforzadas con vibración. |
| SUPER FLUIDA | más de 200 | Elementos muy esbeltos. | Autonivelante, autocompactante. | Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse. |

Fuente: Concreto Simple. Capitulo 4. Manejabilidad del Concreto. Gerardo A. Rivera L.

9.2 Chequeo del tamaño máximo nominal

El tamaño máximo nominal del agregado disponible es de 3/4".

9.3 Estimación del agua de mezcla

De acuerdo a la figura 44, para obtener un asentamiento de 7,0 cm con un TMN = 3/4", es necesario 175 Kg de agua por m³ de concreto.

Figura 44. Contenido de agua por m³ de concreto, según asentamiento y TMN.

| ASENTAMIENTO (cm) | CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | TAMANOS MAXIMOS NOMINALES (mm) | | | | | | |
| | 10 | 13 | 19 | 25 | 38 | 50 | 75 |
| 0,0 – 2,5 | 175 | 170 | 155 | 150 | 135 | 130 | 120 |
| 3,0 – 5,0 | 180 | 175 | 165 | 160 | 145 | 140 | 135 |
| 5,5 – 7,5 | 190 | 185 | 175 | 170 | 155 | 150 | 145 |
| 8,0 – 10,0 | 200 | 190 | 180 | 175 | 165 | 155 | 150 |
| 10,5 – 15,0 | 210 | 195 | 185 | 180 | 170 | 160 | 155 |
| 15,5 – 18,0 | 215 | 205 | 190 | 185 | 175 | 165 | 160 |
| % CONTENIDO DE AIRE | 8,0 | 7,0 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5 |

Fuente: Tecnología del concreto – Asocretos.

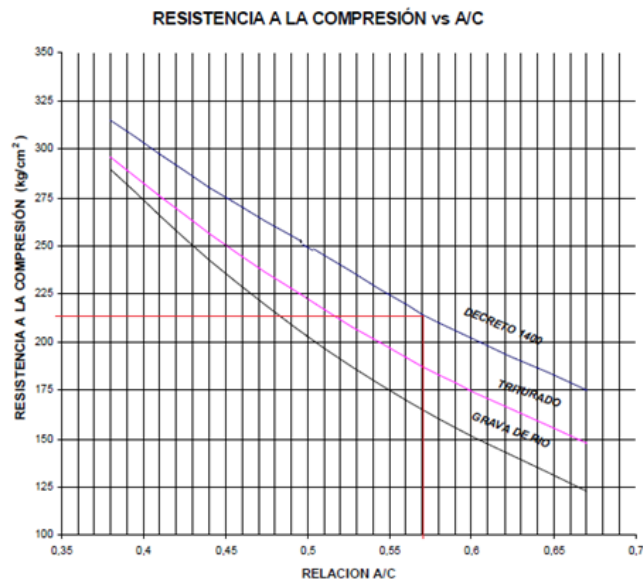
9.4 Determinación de la resistencia de dosificación

La resistencia de la dosificación seleccionada es de 21 MPa.

9.4.1 Selección de la relación Agua/Cemento

En la figura 46 se muestra el comportamiento de los materiales según la resistencia a la compresión versus la relación Agua/Cemento, tomando como referencia los parámetros recomendados en el código colombiano de construcciones sismo resistente (Decreto 1400). Con una resistencia de 210 MPa se obtiene un valor de relación Agua/Cemento = 0,55.

Figura 45. Resistencia a la Compresión en función de la relación Agua/Cemento.



Fuente: Concreto Simple. Capítulo 6. Resistencia del Concreto. Gerardo A. Rivera L.

9.5 Contenido de Cemento

$$C = \frac{A}{A/C} \rightarrow C = \frac{175}{0,55} \rightarrow C = 318,18 \text{ Kg/m}^3$$

- C= cemento
- A= agua
- A/C= relación agua - cemento

9.6 Contenido de agregados

- Volumen abs. agregados = $1\text{m}^3 - \frac{\text{Contenido Agua}}{\text{densidad agua}} - \frac{\text{Contenido cemento}}{\text{Densidad cemento}}$
$$= 1\text{m}^3 - \frac{175 \text{ Kg/m}^3}{1000 \text{ Kg/m}^3} - \frac{318,18 \text{ Kg/m}^3}{3100 \text{ Kg/m}^3}$$
$$= 0,725 \text{ m}^3$$

- G promedio = $\frac{100\%}{\frac{\% \text{ ASOCRETO Fino}}{\text{Densidad seca fino}} - \frac{\% \text{ ASOCRETO Grueso}}{\text{Densidad seca grueso}}}$

$$= \frac{100\%}{\frac{42}{2,65} - \frac{58}{2,84}}$$

$$= 2757 \text{ kg/ c}$$

$$\rightarrow 2757 \text{ kg/ m}^3 \times 0,725 \text{ kg/m}^3$$
$$= 1998,81 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Masa del agregado grueso} = 1998,81 \text{ kg/m}^3 \times 0,58$$
$$= 1159,31 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa del agregado fino} = 1998,81 \text{ kg/m}^3 \times 0,42$$
$$= 839,50 \text{ kg/m}^3$$

9.7 Cálculo de proporciones

En las siguientes tablas se observan los resultados de diseño de mezcla para la muestra estándar y las muestras con adiciones de carbón mineral.

Figura 46. Diseño de mezcla muestra estándar.

| Material | Peso (Kg) | Densidad (Kg/m ³) | Volumen (m ³) |
|-----------------|----------------|-------------------------------|---------------------------|
| Agua | 175,00 | 1000 | 0.175 |
| Cemento | 318,18 | 3100 | 0.103 |
| Agregado Grueso | 1159,31 | 2840 | 0.408 |
| Agregado Fino | 839,50 | 2650 | 0.317 |
| TOTAL | 2491,99 | | 1.000 |

Fuente: Propia.

Proporciones iniciales en masa seca:

1=2,65=3,66

9.8 Proporciones por cilindro

Figura 47. Dimensiones cilindro estándar

| CILINDRO | |
|---------------------------|--------|
| Diámetro (m) | 0.15 |
| Altura (m) | 0.3 |
| Volumen (m ³) | 0.0053 |

Fuente: Propia.

Figura 48. Proporciones por cilindro muestra estándar.

| Material | Peso (Kg) |
|-----------|-----------|
| Agua | 0.984 |
| Cemento | 1.788 |
| A. Grueso | 6.513 |
| A. Fino | 4.716 |
| Total | 14.000 |

Fuente: Propia.

Figura 49. Proporciones para 40 cilindros (4 base + 36 con carbón).

| | | |
|------------|---------------|---------------------|
| x40 | 39.35 | Agua |
| | 71.53 | Cemento |
| | 260.51 | Agr. Grueso |
| | 188.64 | Agr. Fino |
| | 520.67 | Σ (sin agua) |

Fuente: Propia.

Figura 50. Proporciones de carbón para cada porcentaje, según el tamizado.

| UNA PROBETA (Kg) | | | |
|-------------------------|----------|------|------|
| Porcentaje | Tamizado | | |
| | Fondo | 3/8 | 1/2 |
| 1% | 0.13 | 0.13 | 0.13 |
| 3% | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| 5% | 0.65 | 0.65 | 0.65 |

Fuente: Propia.

Figura 51. Proporciones por cilindro muestra 1% carbón mineral (sin agua).

| | | | | |
|---------------------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| 1% UNA PROBETA | Cemento (kg) | 0.02 | 1.77 | |
| | Agre. Grueso (kg) | 0.07 | 6.45 | |
| | Agre. Fino (kg) | 0.05 | 4.67 | |
| | Σ | 0.13 | 12.89 | 13.02 |

Fuente: Propia.

Figura 52. Proporciones por cilindro muestra 3% carbón mineral (sin agua).

| | | | | |
|---------------------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| 3% UNA PROBETA | Cemento (kg) | 0.05 | 1.73 | |
| | Agre. Grueso (kg) | 0.20 | 6.32 | |
| | Agre. Fino (kg) | 0.14 | 4.57 | |
| | Σ | 0.39 | 12.63 | 13.02 |

Fuente: Propia.

Figura 53. Proporciones por cilindro muestra 1% carbón mineral (sin agua).

| | | | | |
|---------------------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| 5% UNA PROBETA | Cemento (kg) | 0.09 | 1.70 | |
| | Agre. Grueso (kg) | 0.33 | 6.187008 | |
| | Agre. Fino (kg) | 0.24 | 4.480143 | |
| | Σ | 0.65 | 12.37 | 13.02 |

Fuente: Propia.

Figura 54. Proporciones en gramos para cada cilindro de carbón mineral.

| 36 PROBETAS (GRAMOS) | | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|------------------------------------|-------------|
| N° Días | | | | | | |
| | 14 | 21 | 28 | UTP | Σ | |
| Fondo 1% | 130.17 | 130.17 | 130.17 | 130.17 | 520.67 | 12 Probetas |
| Fondo 3% | 390.50 | 390.50 | 390.50 | 390.50 | 1562.02 | |
| Fondo 5% | 650.84 | 650.84 | 650.84 | 650.84 | 2603.36 | |
| | | | | | Σ 4686.05 | |
| N° Días | | | | | | |
| | 14 | 21 | 28 | UTP | Σ | |
| 3/8 1% | 130.17 | 130.17 | 130.17 | 130.17 | 520.67 | 12 Probetas |
| 3/8 3% | 390.50 | 390.50 | 390.50 | 390.50 | 1562.02 | |
| 3/8 5% | 650.84 | 650.84 | 650.84 | 650.84 | 2603.36 | |
| | | | | | Σ 4686.05 | |
| N° Días | | | | | | |
| | 14 | 21 | 28 | UTP | Σ | |
| 1/2 1% | 130.17 | 130.17 | 130.17 | 130.17 | 520.67 | 12 Probetas |
| 1/2 3% | 390.50 | 390.50 | 390.50 | 390.50 | 1562.02 | |
| 1/2 5% | 650.84 | 650.84 | 650.84 | 650.84 | 2603.36 | |
| | | | | | Σ 4686.05 | |

Fuente: Propia.

10. ELABORACIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CON CARBÓN MINERAL

Para el desarrollo de la investigación se realizaron cuatro mezclas de concreto empleando un diseño de mezcla dependiendo de la variación del porcentaje de carbón mineral que se incorporara a las mismas.

Se planteó utilizar los tamices de 1/2", 3/8" y fondo con porcentajes de carbón mineral del 1% 3% y 5% para cada tamiz. En este caso se realizaron 4 probetas base (mezcla de concreto sin carbón mineral), 12 probetas de 1/2" (4 de 1%, 4 de 3% y 4 de 5%), 12 probetas de 3/8" (4 de 1%, 4 de 3% y 4 de 5%), y 12 probetas de fondo (4 de 1%, 4 de 3% y 4 de 5%).

En la realización de las muestras se emplean moldes estandarizados de hierro fundido y moldes plásticos cilíndricos para concreto que tienen 30 cm de altura y 15 cm de diámetro. A los moldes previamente al vaciado de la mezcla de concreto se les debe aceitar en el interior para evitar que el concreto se adhiera al mismo, asegurándose de dar una capa uniforme y evitando exceso del aceite.

Se procede a pesar los materiales según las proporciones requeridas. El cemento empleado es de la empresa ARGOS de media resistencia, el agregado grueso fue proporcionado de Arenas y Transporte de Colombia S.A.S. y el carbón mineral de la mina Pribbenow.

Figura 55. Materiales para elaboración de muestras.



Fuente: Propia.

La mezcla se realizó por medio de la mixer (mezcladora); garantizando la homogeneidad mientras se agregan los materiales de las mezclas.

Se vierte el agregado grueso y sobre este se le agrega el agregado fino, seguidamente se adiciona el cemento para luego agregar el carbón a la mezcla y por último se añade el agua calculada para la mezcla.

Figura 56. Adición agregado grueso y agregado fino.



Fuente: Propia.

Después de tener la mezcla, se procede a realizar el ensayo del cono de Abrams por el cual se confirma si se cumple con el asentamiento establecido en el diseño de la mezcla.

Figura 57. Ensayo cono de Abrams.



Fuente: Propia.

La mezcla de concreto se vierte en los moldes cilíndricos en tres capas, y cada capa se golpea con una varilla lisa, la cual se introduce veinticinco veces en lugares diferentes alrededor de toda la superficie del molde.

Figura 58. Vibración de la mezcla en moldes.



Fuente: Propia.

Al terminar el vibrado de la mezcla se termina de llenar el molde con más mezcla y se procede a alisar la superficie empleando un palustre. Cuando haya culminado se procede a golpear el costado de los moldes con el objetivo de eliminar la presencia de burbujas de aire que puedan estar presentes en la mezcla.

Figura 59. Cilindros de concreto en los moldes.



Fuente: Propia.

Los cilindros se deben dejar fraguar veinticuatro horas en los moldes antes de desencofrarlos e ingresarlos a un tanque con agua para su proceso de curado.

Figura 60. Cilindros de concreto desencofrados (Base y fondo).



Fuente: Propia.

Figura 61. Cilindros de concreto en proceso de curado.



Fuente: Propia.

Es necesario que los cilindros en su proceso de fraguado no sean movidos, y se encuentren resguardados en un sitio cubierto.

Pasadas las 24 horas de su fundición los cilindros deben ser sacados de su molde e introducirse en un tanque con agua, esto es con el fin de cumplir con su fraguado debido a que el concreto pasa por un fenómeno de hidratación en el cual el agua que contiene la mezcla tiende a evaporarse.

Por lo general los cilindros estarán en el tanque durante un tiempo de 14, 21 y 28 días en los que cumplidos estos tiempos se someterán a pruebas de compresión; a los 28 días el concreto debió haber alcanzado su resistencia máxima.

11. ENSAYO DE COMPRESIÓN

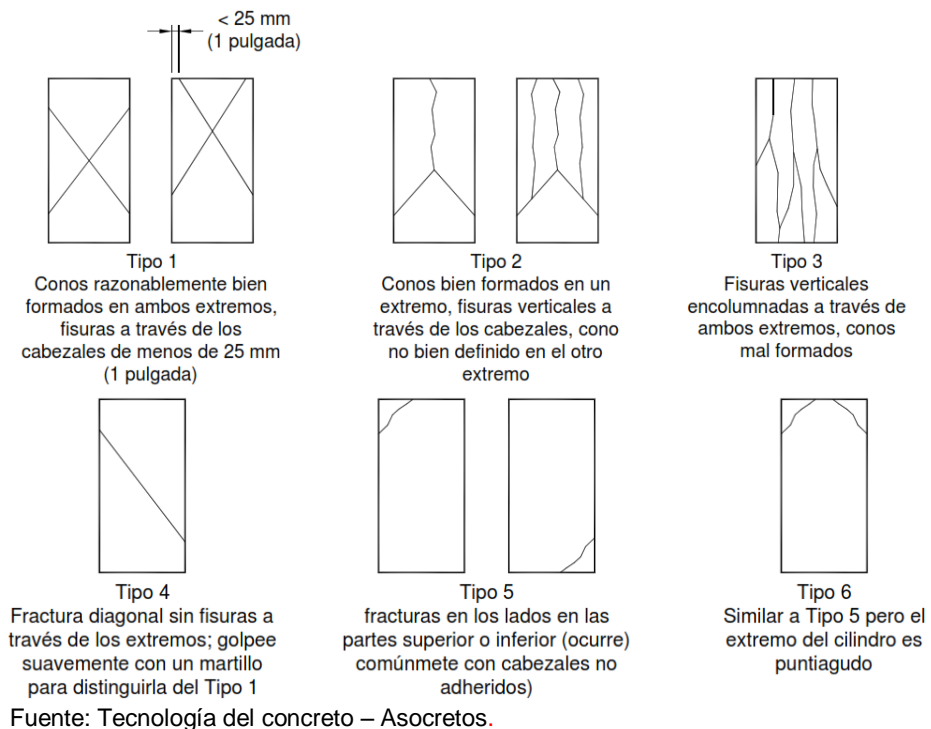
Los cilindros se someten al ensayo de compresión, donde se colocan los dos bloques en los extremos de los cilindros y se ubica el espécimen en el centro de las placas de la máquina de ensayo. Se aplica la carga de manera continua, hasta que el cilindro falle y se registra la carga máxima soportada por el durante el ensayo. Se realiza un registro fotográfico del tipo de falla de los especímenes.

Figura 62. Maquina ensayo a compresión.



Fuente: Propia.

Figura 63. Tipos de fallas cilindros de concreto.



A continuacion se presentan los resultados de los ensayos a compresion de los cilindros con 1%, 3% y 5% de carbon mineral y las probetas base.

Figura 64. Resistencia cilindros de concreto Base.

| CILINDROS BASE | | | | | | | |
|-----------------------|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 16-jun-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 13,50 | 262,73 | 14,86 |
| 23-jun-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 13,80 | 324,81 | 18,38 |
| 30-jun-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 13,55 | 342,12 | 19,36 |

Fuente: Propia.

Figura 65. Resistencia cilindros de concreto Fondo 1%.

| CILINDROS 1% CARBON TAMIZADO FONDO | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 16-jun-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 13,50 | 294,39 | 16,66 |
| 23-jun-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 13,50 | 356,71 | 20,18 |
| 30-jun-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 13,40 | 322,52 | 18,24 |

Fuente: Propia.

Figura 66. Resistencia cilindros de concreto Fondo 3%.

| CILINDROS 3% CARBON TAMIZADO FONDO | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 16-jun-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 13,25 | 139,90 | 7,92 |
| 23-jun-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 13,35 | 178,97 | 10,12 |
| 30-jun-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 13,05 | 219,59 | 12,42 |

Fuente: Propia.

Figura 67. Resistencia cilindros de concreto Fondo 5%.

| CILINDROS 5% CARBON TAMIZADO FONDO | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 16-jun-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 12,75 | 58,50 | 3,31 |
| 23-jun-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 12,75 | 73,60 | 4,16 |
| 30-jun-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 12,90 | 59,21 | 3,35 |

Fuente: Propia.

Figura 68. Resistencia cilindros de concreto 1/2" de 1%.

| CILINDROS 1% CARBON TAMIZADO 1/2 | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 18-jun-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 13,20 | 226,68 | 12,83 |
| 25-jun-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 13,35 | 255,87 | 14,48 |
| 02-jul-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 13,60 | 243,32 | 13,77 |

Fuente: Propia.

Figura 69. Resistencia cilindros de concreto 1/2" de 3%.

| CILINDROS 3% CARBON TAMIZADO 1/2 | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 18-jun-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 13,00 | 99,89 | 5,65 |
| 25-jun-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 12,60 | 133,54 | 7,55 |
| 02-jul-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 12,85 | 160,32 | 9,07 |

Fuente: Propia.

Figura 70. Resistencia cilindros de concreto 1/2" de 5%

| CILINDROS 5% CARBON TAMIZADO 1/2 | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 18-jun-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 12,80 | 195,86 | 11,08 |
| 25-jun-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 12,80 | 223,71 | 12,66 |
| 02-jul-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 12,85 | 209,84 | 11,85 |

Fuente: Propia.

Figura 71. Resistencia cilindros de concreto 3/8" de 1%.

| CILINDROS 1% CARBON TAMIZADO 3/8 | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 07-jul-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 13,80 | 177,98 | 10,07 |
| 14-jul-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 13,50 | 203,76 | 11,53 |
| 21-jul-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 12,95 | 232,45 | 13,15 |

Fuente: Propia.

Figura 72. Resistencia cilindros de concreto 3/8" de 3%.

| CILINDROS 3% CARBON TAMIZADO 3/8 | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-------------------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm ²) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 07-jul-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 13,50 | 78,09 | 4,35 |
| 14-jul-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 13,30 | 240,63 | 13,61 |
| 21-jul-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 12,75 | 212,24 | 12,01 |

Fuente: Propia.

Figura 73. Resistencia cilindros de concreto 3/8" de 5%.

| CILINDROS 5% CARBON TAMIZADO 3/8 | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|---------------|------------|-------------|-------|------------|----------------|
| Fecha | Dia | Diametro (cm) | Area (cm2) | Altura (cm) | Peso | Falla (KN) | Esfuerzo (Mpa) |
| 07-jul-15 | 14 | 15 | 176,71 | 30 | 12,95 | 128,71 | 7,28 |
| 14-jul-15 | 21 | 15 | 176,71 | 30 | 12,85 | 162,51 | 9,19 |
| 21-jul-15 | 28 | 15 | 176,71 | 30 | 12,05 | 171,85 | 9,69 |

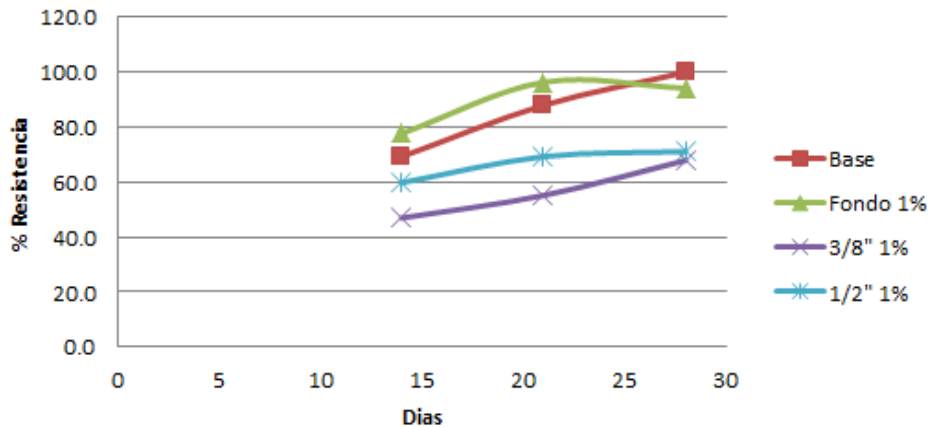
Fuente: Propia.

Figura 74. Base vs. Adición de 1% carbón mineral.

| Dia | Muestra Base | Tamiz Fondo 1% | Tamiz 3/8" 1% | Tamiz 1/2" 1% |
|-----|--------------|----------------|---------------|---------------|
| 14 | 69.3 | 77.7 | 47.0 | 59.9 |
| 21 | 88.0 | 96.4 | 55.2 | 69.3 |
| 28 | 100.0 | 94.2 | 67.9 | 71.1 |

Fuente: Propia.

Figura 75. Resistencia vs. Tiempo (1% Carbón mineral).



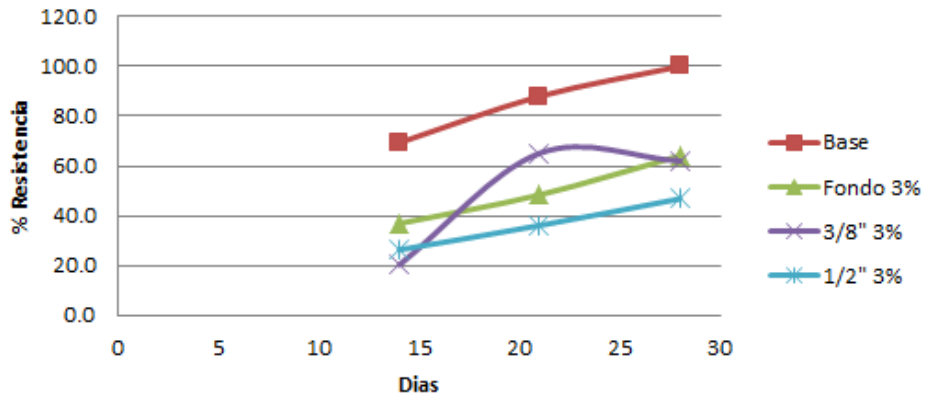
Fuente: propia

Figura 76. Base vs. Adición de 3% carbón mineral.

| Dia | Muestra Base | Tamiz Fondo 3% | Tamiz 3/8" 3% | Tamiz 1/2" 3% |
|-----|--------------|----------------|---------------|---------------|
| 14 | 69.3 | 37.0 | 20.3 | 26.4 |
| 21 | 88.0 | 48.5 | 65.2 | 36.1 |
| 28 | 100.0 | 64.2 | 62.0 | 46.8 |

Fuente: propia

Figura 77. Resistencia vs. Tiempo (3% Carbón mineral).



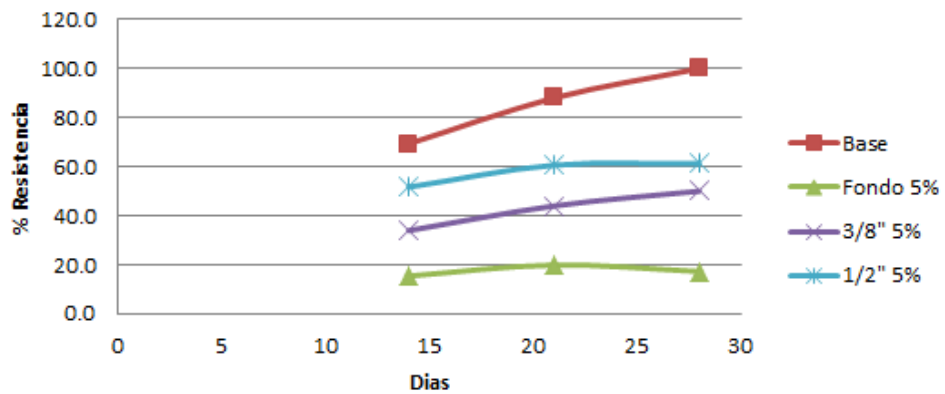
Fuente: Propia.

Figura 78. Base vs. Adición de 5% carbón mineral.

| Dia | Muestra Base | Tamiz Fondo 5% | Tamiz 3/8" 5% | Tamiz 1/2" 5% |
|-----|--------------|----------------|---------------|---------------|
| 14 | 69.3 | 15.4 | 34.0 | 51.7 |
| 21 | 88.0 | 19.9 | 44.0 | 60.6 |
| 28 | 100.0 | 17.3 | 50.1 | 61.2 |

Fuente: Propia.

Figura 79. Resistencia vs. Tiempo (5% Carbón mineral).



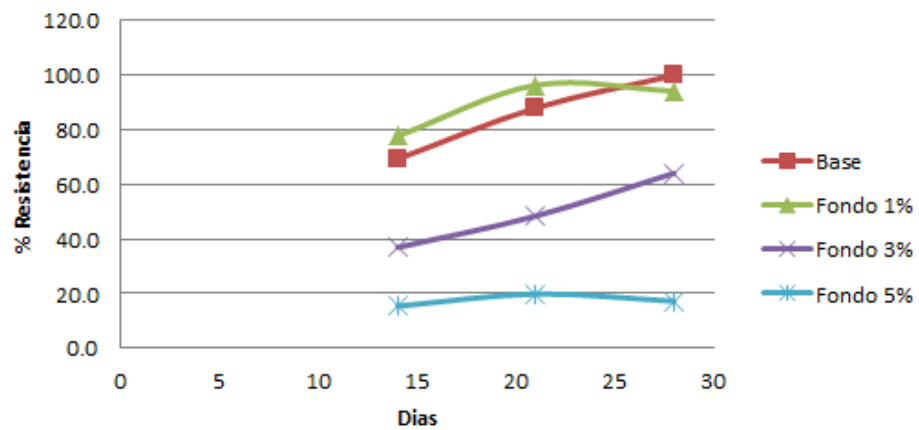
Fuente: Propia.

Figura 80. Base vs. Adición de Tamiz Fondo carbón mineral.

| Dia | Muestra Base | Tamiz Fondo 1% | Tamiz Fondo 3% | Tamiz Fondo 5% |
|-----|--------------|----------------|----------------|----------------|
| 14 | 69.3 | 77.7 | 37.0 | 15.4 |
| 21 | 88.0 | 96.4 | 48.5 | 19.9 |
| 28 | 100.0 | 94.2 | 64.2 | 17.3 |

Fuente: Propia.

Figura 81. Resistencia vs. Tiempo (Tamiz Fondo Carbón mineral).



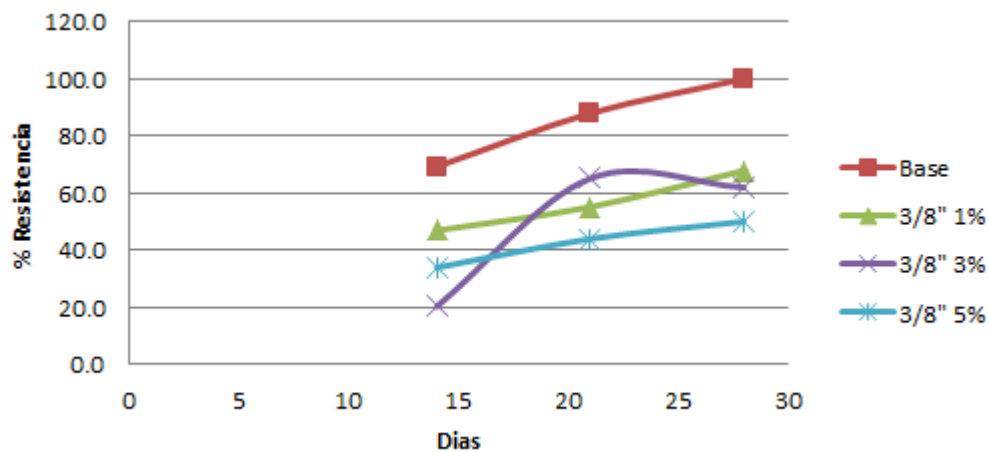
Fuente: Propia.

Figura 82. Base vs. Adición de Tamiz 3/8" carbón mineral.

| Dia | Muestra Base | Tamiz 3/8" 1% | Tamiz 3/8" 3% | Tamiz 3/8" 5% |
|-----|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 14 | 69.3 | 47.0 | 20.3 | 34.0 |
| 21 | 88.0 | 55.2 | 65.2 | 44.0 |
| 28 | 100.0 | 67.9 | 62.0 | 50.1 |

Fuente: Propia.

Figura 83. Resistencia vs. Tiempo (Tamiz 3/8" Carbón mineral).



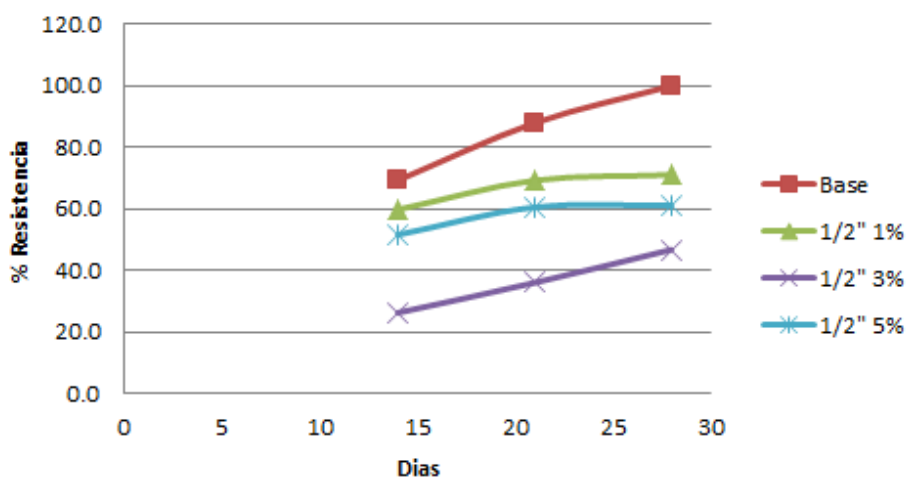
Fuente: Propia.

Figura 84. Base vs. Adición de Tamiz 1/2" carbón mineral.

| Día | Muestra Base | Tamiz 1/2" 1% | Tamiz 1/2" 3% | Tamiz 1/2" 5% |
|-----|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 14 | 69.3 | 59.9 | 26.4 | 51.7 |
| 21 | 88.0 | 69.3 | 36.1 | 60.6 |
| 28 | 100.0 | 71.1 | 46.8 | 61.2 |

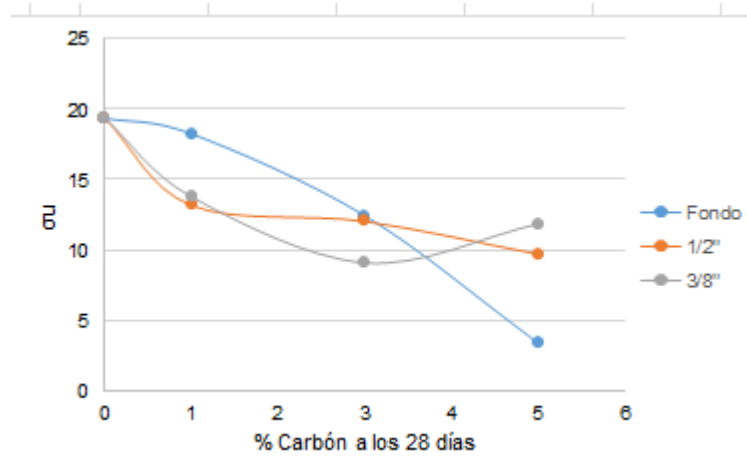
Fuente: Propia.

Figura 85. Resistencia vs. Tiempo (Tamiz 1/2" Carbón mineral).



Fuente: Propia.

Figura 86. Deformación unitaria de concreto con adición de carbón del 1%, 3% y 5%.



Fuente: Propia.

Figura 87. Cilindro con falla de 1/2\" 3% a los 14 días.



Fuente: Propia.

Figura 88. Cilindro con falla de 1/2\" 5% a los 14 días.



Fuente: Propia.

12. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE YOUNG

El ensayo de compresión se realiza para medir la deformación de la probeta por cada fuerza aplicada, con el fin de calcular el Módulo de Elasticidad de Young, y sin alcanzar la falla, tomando mediciones dentro de lo que se considera el rango elástico. Para todas las probetas la máxima carga aplicada es de 110 KN.

El procedimiento consiste en colocar entre los dispositivos de aplicación de carga un comparador de carátulas que mide la deformación en la probeta, la velocidad de aplicación de carga se puede controlar desde el equipo. Con los datos obtenidos en el ensayo de Fuerza F y deformación δ se determinan el esfuerzo de compresión σ y la deformación unitaria ϵ , para construir la curva esfuerzo- deformación.

Dentro de la parte elástica, de dicha curva puedo tomar un rango para calcular el $\Delta\sigma$ y $\Delta\epsilon$, y de acuerdo a la Ley de Hooke ($\sigma = E \times \epsilon$), determinar el valor del Módulo de Elasticidad de Young E para cada mezcla de concreto con diferentes proporciones de carbón.

Figura 89. Ensayo de tensión para cilindro de concreto.



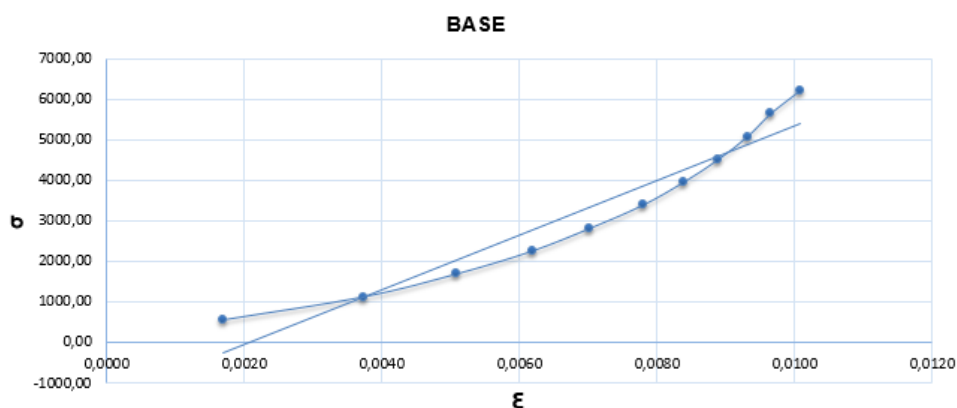
Fuente: Propia.

Figura 90. Módulo de Young en la muestra Base.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|-----|----------------|------------|--------|
| 10 | 20 | 565,90 | 0,0017 | 800000 |
| 20 | 44 | 1131,80 | 0,0037 | |
| 30 | 60 | 1697,70 | 0,0051 | |
| 40 | 73 | 2263,60 | 0,0062 | |
| 50 | 83 | 2829,49 | 0,0070 | |
| 60 | 92 | 3395,39 | 0,0078 | |
| 70 | 99 | 3961,29 | 0,0084 | |
| 80 | 105 | 4527,19 | 0,0089 | |
| 90 | 110 | 5093,09 | 0,0093 | |
| 100 | 114 | 5658,99 | 0,0097 | |
| 110 | 119 | 6224,89 | 0,0101 | |

Fuente: Propia.

Figura 91. Diagrama Esfuerzo-Deformación, Muestra Base.



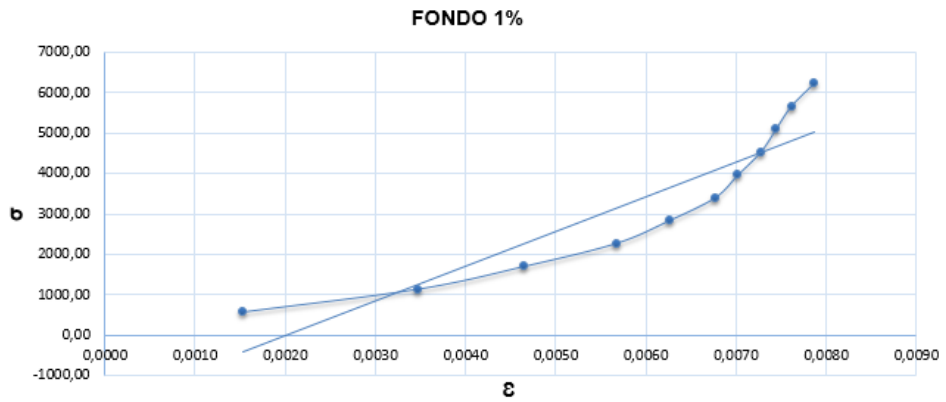
Fuente: Propia.

Figura 92. Módulo de Young en el tamiz Fondo 1%.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|----|----------------|------------|--------|
| 10 | 18 | 565,90 | 0,0015 | 875000 |
| 20 | 41 | 1131,80 | 0,0035 | |
| 30 | 55 | 1697,70 | 0,0047 | |
| 40 | 67 | 2263,60 | 0,0057 | |
| 50 | 74 | 2829,49 | 0,0063 | |
| 60 | 80 | 3395,39 | 0,0068 | |
| 70 | 83 | 3961,29 | 0,0070 | |
| 80 | 86 | 4527,19 | 0,0073 | |
| 90 | 88 | 5093,09 | 0,0075 | |
| 100 | 90 | 5658,99 | 0,0076 | |
| 110 | 93 | 6224,89 | 0,0079 | |

Fuente: Propia.

Figura 93. Diagrama Esfuerzo-Deformación, Fondo 1%.



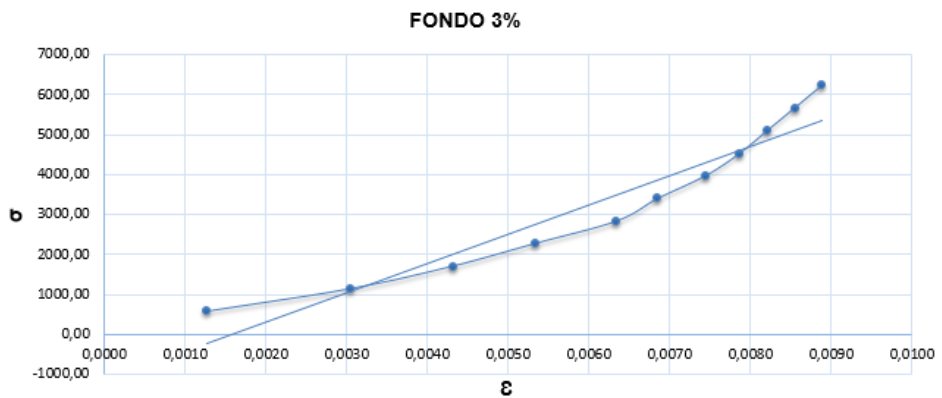
Fuente: Propia.

Figura 94. Módulo de Young en el tamiz Fondo 3%.

| CARGA | d | σ(KPa) | ε | E |
|-------|-----|---------|--------|--------|
| 10 | 15 | 565,90 | 0,0013 | 705882 |
| 20 | 36 | 1131,80 | 0,0030 | |
| 30 | 51 | 1697,70 | 0,0043 | |
| 40 | 63 | 2263,60 | 0,0053 | |
| 50 | 75 | 2829,49 | 0,0064 | |
| 60 | 81 | 3395,39 | 0,0069 | |
| 70 | 88 | 3961,29 | 0,0075 | |
| 80 | 93 | 4527,19 | 0,0079 | |
| 90 | 97 | 5093,09 | 0,0082 | |
| 100 | 101 | 5658,99 | 0,0086 | |
| 110 | 105 | 6224,89 | 0,0089 | |

Fuente: Propia.

Figura 95. Diagrama Esfuerzo-Deformación, Fondo 3%



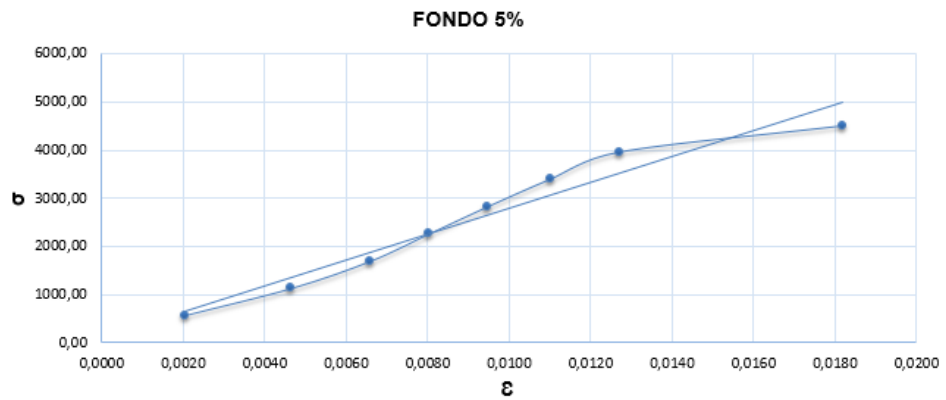
Fuente: Propia.

Figura 96. Módulo de Young en el tamiz fondo 5%.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|-----|----------------|------------|--------|
| 10 | 24 | 565,90 | 0,0020 | 257143 |
| 20 | 55 | 1131,80 | 0,0047 | |
| 30 | 78 | 1697,70 | 0,0066 | |
| 40 | 95 | 2263,60 | 0,0080 | |
| 50 | 112 | 2829,49 | 0,0095 | |
| 60 | 130 | 3395,39 | 0,0110 | |
| 70 | 150 | 3961,29 | 0,0127 | |
| 79,68 | 215 | 4509,08 | 0,0182 | |

Fuente: Propia.

Figura 97. Diagrama Esfuerzo-Deformación, Fondo 5%.



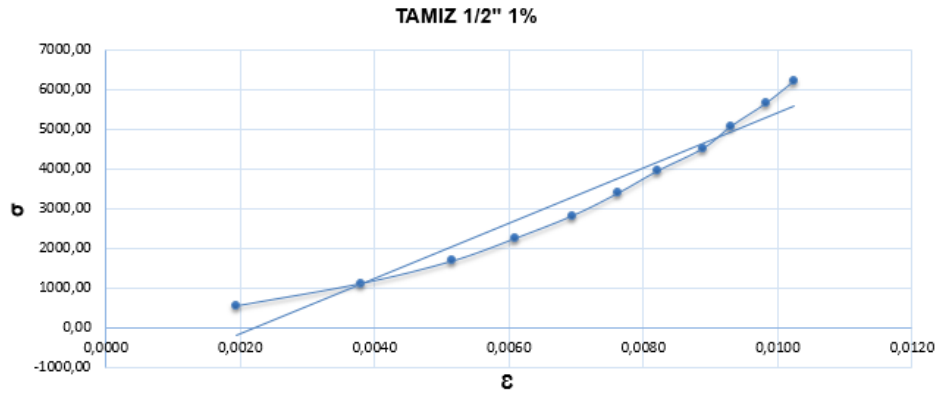
Fuente: Propia.

Figura 98. Módulo de Young en el tamiz 1/2" 1%.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|-----|----------------|------------|--------|
| 10 | 23 | 565,90 | 0,0019 | 769231 |
| 20 | 45 | 1131,80 | 0,0038 | |
| 30 | 61 | 1697,70 | 0,0052 | |
| 40 | 72 | 2263,60 | 0,0061 | |
| 50 | 82 | 2829,49 | 0,0069 | |
| 60 | 90 | 3395,39 | 0,0076 | |
| 70 | 97 | 3961,29 | 0,0082 | |
| 80 | 105 | 4527,19 | 0,0089 | |
| 90 | 110 | 5093,09 | 0,0093 | |
| 100 | 116 | 5658,99 | 0,0098 | |
| 110 | 121 | 6224,89 | 0,0102 | |

Fuente: Propia.

Figura 99. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 1/2" 1%.



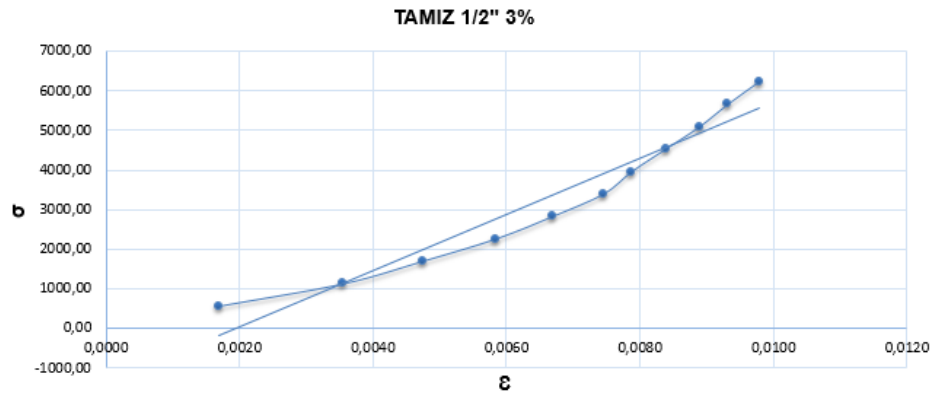
Fuente: Propia.

Figura 100. Módulo de Young en el tamiz 1/2" 3%.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|-------|----------------|------------|----------|
| 10 | 20 | 565,90 | 0,0017 | 600000,0 |
| 20 | 42 | 1131,80 | 0,0036 | |
| 30 | 56 | 1697,70 | 0,0047 | |
| 40 | 69 | 2263,60 | 0,0058 | |
| 50 | 79 | 2829,49 | 0,0067 | |
| 60 | 88 | 3395,39 | 0,0075 | |
| 70 | 93 | 3961,29 | 0,0079 | |
| 80 | 99 | 4527,19 | 0,0084 | |
| 90 | 105 | 5093,09 | 0,0089 | |
| 100 | 110 | 5658,99 | 0,0093 | |
| 110 | 115,5 | 6224,89 | 0,0098 | |

Fuente: Propia.

Figura 101. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 1/2" 3%.



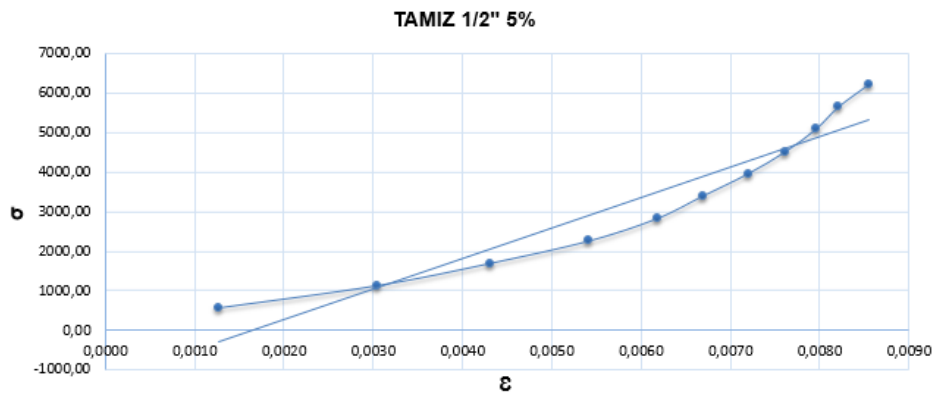
Fuente: Propia.

Figura 102. Módulo de Young en el tamiz 1/2" 5%.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|-----|----------------|------------|----------|
| 10 | 15 | 565,90 | 0,0013 | 700000,0 |
| 20 | 36 | 1131,80 | 0,0030 | |
| 30 | 51 | 1697,70 | 0,0043 | |
| 40 | 64 | 2263,60 | 0,0054 | |
| 50 | 73 | 2829,49 | 0,0062 | |
| 60 | 79 | 3395,39 | 0,0067 | |
| 70 | 85 | 3961,29 | 0,0072 | |
| 80 | 90 | 4527,19 | 0,0076 | |
| 90 | 94 | 5093,09 | 0,0080 | |
| 100 | 97 | 5658,99 | 0,0082 | |
| 110 | 101 | 6224,89 | 0,0086 | |

Fuente: Propia.

Figura 103. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 1/2" 5%.



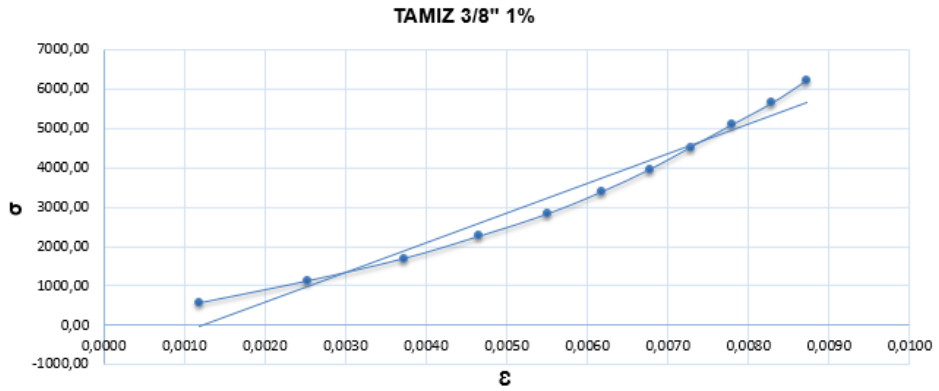
Fuente: Propia.

Figura 104. Módulo de Young en el tamiz 3/8" 1%.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|-----|----------------|------------|----------|
| 10 | 14 | 565,90 | 0,0012 | 750000,0 |
| 20 | 30 | 1131,80 | 0,0025 | |
| 30 | 44 | 1697,70 | 0,0037 | |
| 40 | 55 | 2263,60 | 0,0047 | |
| 50 | 65 | 2829,49 | 0,0055 | |
| 60 | 73 | 3395,39 | 0,0062 | |
| 70 | 80 | 3961,29 | 0,0068 | |
| 80 | 86 | 4527,19 | 0,0073 | |
| 90 | 92 | 5093,09 | 0,0078 | |
| 100 | 98 | 5658,99 | 0,0083 | |
| 110 | 103 | 6224,89 | 0,0087 | |

Fuente: Propia.

Figura 105. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 3/8" 1%.



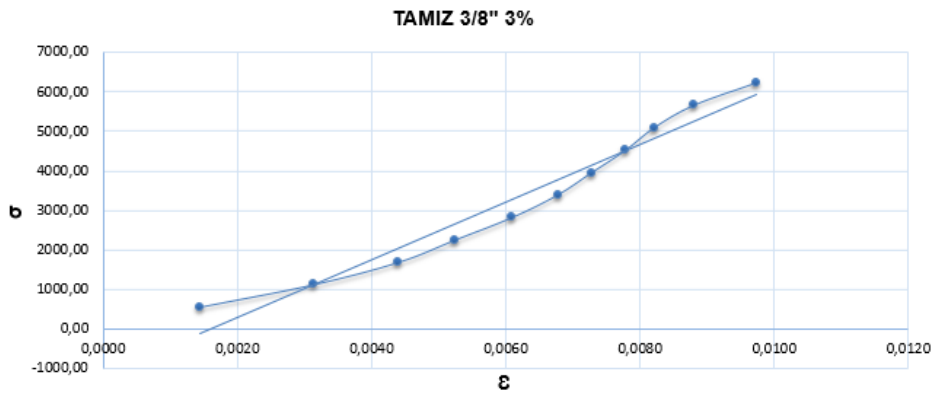
Fuente: Propia.

Figura 106. Módulo de Young en el tamiz 3/8" 3%.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|-----|----------------|------------|----------|
| 10 | 17 | 565,90 | 0,0014 | 700000,0 |
| 20 | 37 | 1131,80 | 0,0031 | |
| 30 | 52 | 1697,70 | 0,0044 | |
| 40 | 62 | 2263,60 | 0,0052 | |
| 50 | 72 | 2829,49 | 0,0061 | |
| 60 | 80 | 3395,39 | 0,0068 | |
| 70 | 86 | 3961,29 | 0,0073 | |
| 80 | 92 | 4527,19 | 0,0078 | |
| 90 | 97 | 5093,09 | 0,0082 | |
| 100 | 104 | 5658,99 | 0,0088 | |
| 110 | 115 | 6224,89 | 0,0097 | |

Fuente: Propia.

Figura 107. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 3/8" 3%.



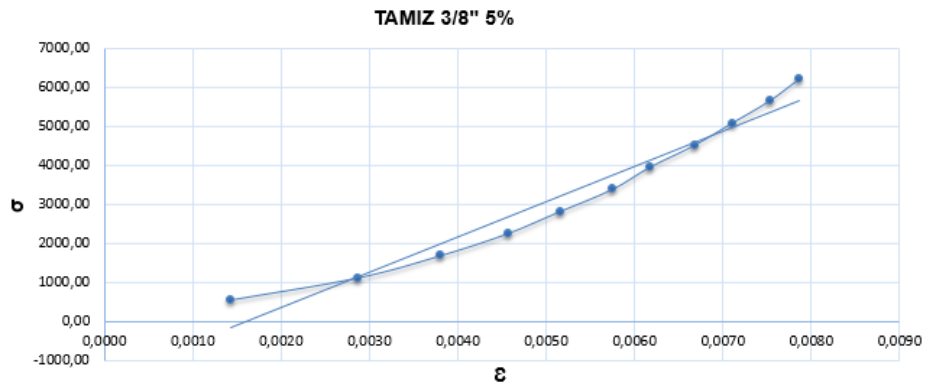
Fuente: Propia.

Figura 108. Módulo de Young en el tamiz 3/8" 5%.

| CARGA | d | σ (KPa) | ϵ | E |
|-------|----|----------------|------------|----------|
| 10 | 17 | 565,90 | 0,0014 | 900000,0 |
| 20 | 34 | 1131,80 | 0,0029 | |
| 30 | 45 | 1697,70 | 0,0038 | |
| 40 | 54 | 2263,60 | 0,0046 | |
| 50 | 61 | 2829,49 | 0,0052 | |
| 60 | 68 | 3395,39 | 0,0058 | |
| 70 | 73 | 3961,29 | 0,0062 | |
| 80 | 79 | 4527,19 | 0,0067 | |
| 90 | 84 | 5093,09 | 0,0071 | |
| 100 | 89 | 5658,99 | 0,0075 | |
| 110 | 93 | 6224,89 | 0,0079 | |

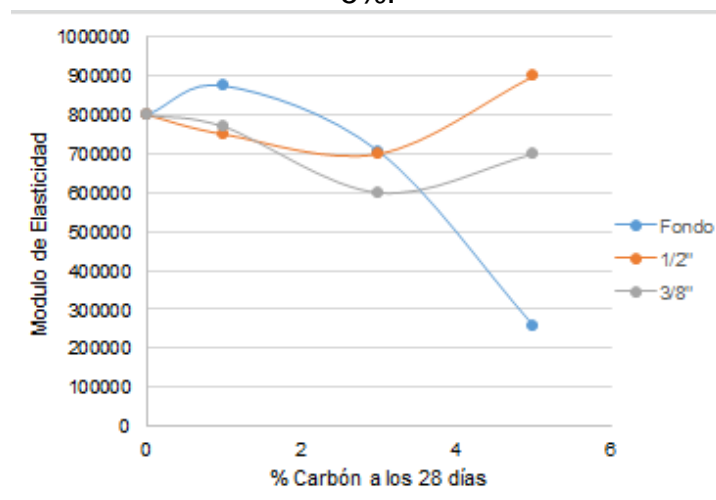
Fuente: Propia.

Figura 109. Diagrama Esfuerzo-Deformación, 3/8" 5%.



Fuente: Propia.

Figura 110. Módulo de Young del concreto con adición de carbón de 1%, 3% y 5%.



Fuente: Propia.

13. CONCLUSIONES

- Se espera que de este trabajo de investigación sobre el análisis de mezcla de concreto con carbón mineral, sea importante mencionar la participación en el desarrollo tanto económico como estructural que va a contribuir a los esperados para hacer aplicados en la ingeniería de construcción.
- La hipótesis planteada no cumple los parámetros establecidos por medio de la investigación, debido a la disminución de la resistencia al aumentar la adición de porcentaje de carbón mineral.
- Al observar los resultados obtenidos en los ensayos de compresión, se percibe que los datos arrojados varían de forma negativa según se aumenta el tamaño y la proporción del carbón mineral dado que los cilindros que contienen el material adicionado de 1/2" fallaron con una resistencia mínima debido a que se generaron vacíos.
- El conocimiento del valor del módulo de elasticidad del concreto es esencial en la determinación de la deflexión del concreto reforzado y pre-esforzado utilizado en las estructuras.

14. RECOMENDACIONES

- Para la preparación de las mezclas se recomienda seguir el orden del mezclado propuesto en el trabajo línea de base.
- Las proporciones del carbón mineral deben hacerse hasta en un máximo del 10%, puesto que, cantidades mayores podrían ocasionar una baja en la resistencia de la mezcla debido a que el número de finos podría llegar a ser mayor que el de los agregados gruesos.
- Se sugiere que para la obtención de mejores resultados, los materiales empleados en la mezcla se deben almacenar en un lugar aislado de la humedad en especial el cemento.
- Se recomienda que a futuro para las pruebas sea empleada una maquina universal de ensayos, para de esa manera, tener valores de deformación y carga aplicada y poder elaborar las curvas de deformación unitaria vs esfuerzo aplicado, con la cual se pueda determinar valores como esfuerzo de fluencia, modulo elástico, valores que son importantes para el comportamiento de las mezclas.
- Para garantizar una mezcla homogénea, se aconseja utilizar una mixer (mezcladora) y no realizarla por el método manual.
- Las pruebas de compresión en el concreto con el fin de conseguir el Módulo de elasticidad con instrumentos inadecuados son tediosas pues el factor humano es determinante en la toma de lecturas tanto de carga como de deformación. Se recomienda entonces, emplear instrumentación adecuada tal como conectar al cilindro de concreto un medidor de deformaciones electrónico LVDT (Transformador Diferencial Variable Lineal) que miden las deformaciones verticales, registrándose automáticamente, o el uso de Strain Gages (Calibres Extensiométricos), cuya función como resistencia eléctrica, registra los cambios de longitud mediante un puente de Wheastone, y transforma dichos cambios en medidas de deformación.
- Se recomienda para futuros proyectos de investigación que sigan la misma base del proyecto "Análisis de mezclas de concreto con carbón mineral", modificar los tamaños usados (fondo, 3/8", y 1/2") con un tamiz intermedio entre fondo y 3/8" con el fin de encontrar la granulometría perfecta que permita darle a la mezcla mejores propiedades de resistencia.

15. ANEXOS

ANEXO A. Análisis de arena para concreto

A. IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

La identificación de las muestras fue suministrada directamente por ustedes, así:

Muestra No.: 424
Descripción: Arena
Fuente: Río Cauca
Fecha de toma de muestra: 2014-09-02
Fecha de recibido en laboratorio: 2014-09-05

B. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

1. Terrones de Arcilla y Partículas delezables (NTC-589)

| Tipo de Material | Resultado del Ensayo (%) | Especificación NTC-174 |
|------------------|--------------------------|------------------------|
| Arena | 0,19 | 3 % Máx. |

Fuente: Concretos ARGOS S.A. Fecha: 2014-09-08.

ANEXO B. Análisis de grava para concreto

A. IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

La identificación de las muestras fue suministrada directamente por ustedes, así:

Muestra No. : 820
Descripción: Grava triturada 25mm (1")
Fuente: Cantera Combia
Fecha de toma de muestra: 2014-09-02
Fecha de recibido en laboratorio: 2014-09-05

B. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

1. Terrones de Arcilla y Partículas delezables (NTC-589)

| Tipo de Material | Resultado del Ensayo (%) | Especificación NTC-174 |
|------------------|--------------------------|------------------------|
| Grava 25mm (1") | 0,12 | 3 % Máx. |

Fuente: Concretos ARGOS S.A. Fecha: 2014-09-08

ANEXO C. Analisis de grava para concreto

A. IDENTIFICACION DE MUESTRAS

La identificación de las muestras fue suministrada directamente por ustedes, así:

| | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Muestra No. : | 822 |
| Descripción: | Grava triturada 19mm (3/4") |
| Fuente: | Río Risaralda |
| Fecha de toma de muestra: | 2014-09-02 |
| Fecha de recibido en laboratorio: | 2014-09-05 |

B. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

1. Terrones de Arcilla y Partículas delezables (NTC-589)

| Tipo de Material | Resultado del Ensayo (%) | Especificación NTC-174 |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
| Grava triturada 19mm (3/4") | 0,14 | 3 % Máx. |

Fuente: Concretos ARGOS S.A. Fecha: 2014-09-08.

ANEXO D. Resultado de análisis muestra agregados

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| <i>Referencias Muestras:</i> | <u>#424 Arena</u> <i>Cauca</i> | <i>#820 Grava Tri.</i> <i>25mm Combia</i> | <i>#822 Grava tri</i> <i>19mm Risaralda</i> |
| <i>Registros Laboratorio:</i> | <i>3371</i> | <i>3372</i> | <i>3373</i> |

Resultados:

| | | | |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| <i>Partículas Livianas:</i> | <i><0,001%</i> | <i><0,001%</i> | <i><0,001%</i> |
| <i>Absorción Azul der Metileno:</i> | <i>0,010 mg. /g.</i> | | |

Análisis según y normas referenciadas de NTC 130 e INVE-235.

Fuente: Concretos ARGOS S.A. Fecha: 2014-09-05.

ANEXO E. Reporte consolidado de agregados

Especificación NTC 174 AR CONCRETO Desde Fecha 20140901 Hasta 20140930

ARGOS

Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos y determinación del módulo de finura según NTC 77, determinación de la masa unitaria suelta de los agregados según NTC 92, método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado grueso según NTC 176, método para determinar la densidad y absorción del agregado fino según NTC 237, método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75 µm en agregados minerales según NTC 78, Humedad de los agregados NTC 1776 Y Materia Organica NTC 127.

INFORMACION GRANULOMETRIA

| <u>Muestra</u> <u>Fecha</u> | <u>75u</u> | <u>150u</u> | <u>300u</u> | <u>600u</u> | <u>1.19 mm</u> | <u>2.38 mm</u> | <u>4.76 mm</u> | <u>9.51 mm</u> |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 425 - 09/09/2014 | 1.64% | 4.55% | 28.86% | 62.13% | 73.05% | 84.42% | 96.31% | 99.62% |
| 426 - 16/09/2014 | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| 427 - 23/09/2014 | 2.23% | 5.10% | 24.78% | 64.38% | 77.47% | 88.31% | 98.07% | 100.00% |
| Maximo | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| Minimo | 1.64% | 4.55% | 24.78% | 62.13% | 73.05% | 84.42% | 96.31% | 99.62% |
| Promedio | 34.62% | 36.55% | 51.21% | 75.50% | 83.51% | 90.91% | 98.13% | 99.87% |
| Max Esp | 5.00% | 10.00% | 30.00% | 60.00% | 85.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| Min Esp | 0 % | 2.00% | 10.00% | 25.00% | 50.00% | 80.00% | 95.00% | 100.00% |

INFORMACION PROPIEDADES MATERIAL

| <u>Muestra</u> <u>Fecha</u> | % PASA 200 NTC 78 | % Pasa Tamiz 200 | Absorció n | Azul de metileno | Contenid o Materia Organica | Densidad Aparente | Equivale nte de arena | Humedad de agregado s | Masa Unitaria Suelta | Modulo de Finura | Particula s deleznab les | Particula s Livianas |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 424 - 02/09/2014 | 1.3 | 1.3 | 2.6 | - | 2.0 | 2560.0 | 73.1 | 7.4 | 1506.0 | | .2 | - |
| 425 - 09/09/2014 | 1.6 | 1.6 | - | - | - | - | - | - | - | 2.5 | - | - |
| 426 - 16/09/2014 | 1.9 | 1.9 | 2.8 | - | - | 2561.0 | - | 9.1 | 1489.0 | - | - | - |
| 427 - 23/09/2014 | 2.1 | 2.2 | - | - | - | - | - | - | - | 2.4 | - | - |
| Maximo | 2.1 | 2.2 | 2.8 | 0 | 2.0 | 2561.0 | 73.1 | 9.1 | 1506.0 | 2.5 | .2 | 0 |
| Minimo | 1.3 | 1.3 | 2.6 | 0 | 2.0 | 2560.0 | 73.1 | 7.4 | 1489.0 | 0 | .2 | 0 |
| Promedio | 1.7 | 1.7 | 2.7 | 0 | 2.0 | 2560.5 | 73.1 | 8.2 | 1497.5 | 1.6 | .2 | 0 |
| Min Esp | | | | | | | | | | | | |
| Max Esp | | | | | | | | | | | | |

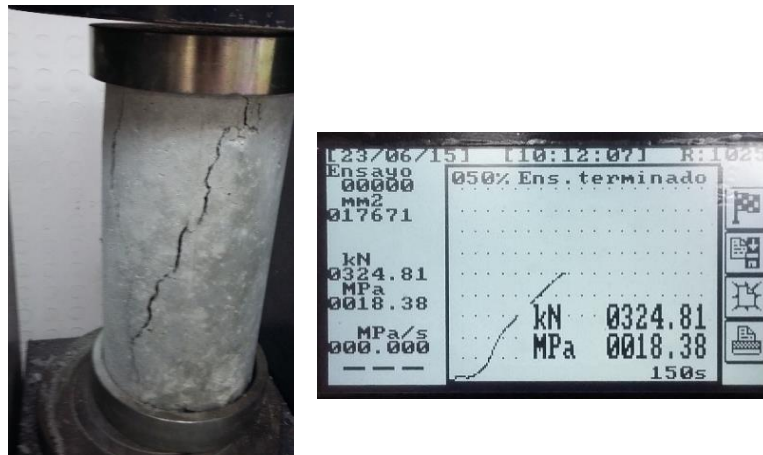
ANEXO F. Cilindros de concreto (Base)

Figura 111. Falla de cilindro base (14 días).



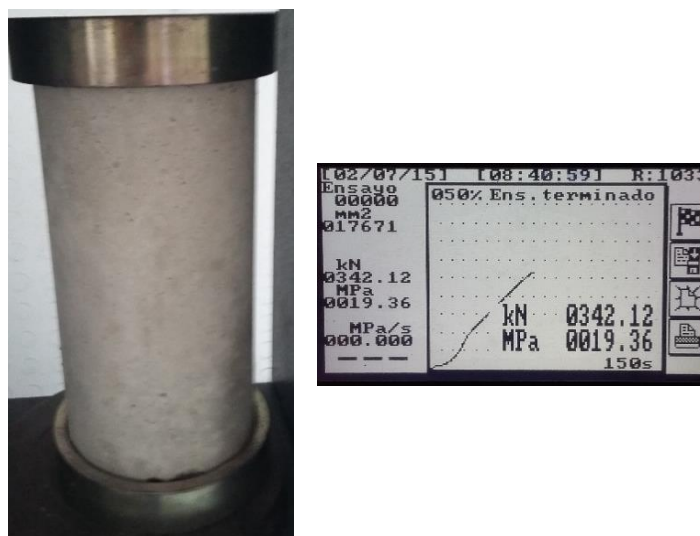
Fuente: Propia.

Figura 112. Falla de cilindro base (21 días).



Fuente: Propia.

Figura 113. Falla de cilindro base (28 días).



Fuente: Propia.

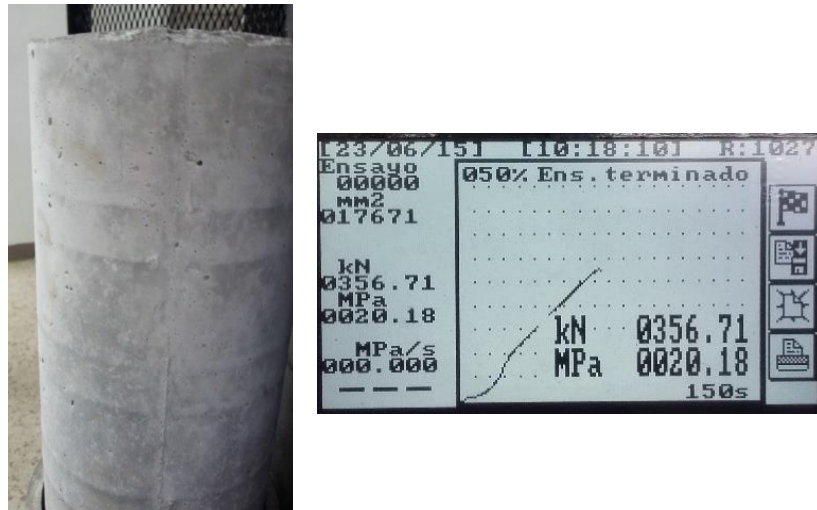
ANEXO G. Cilindros de concreto con carbón mineral 1%

Figura 114. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, Fondo (14 días).



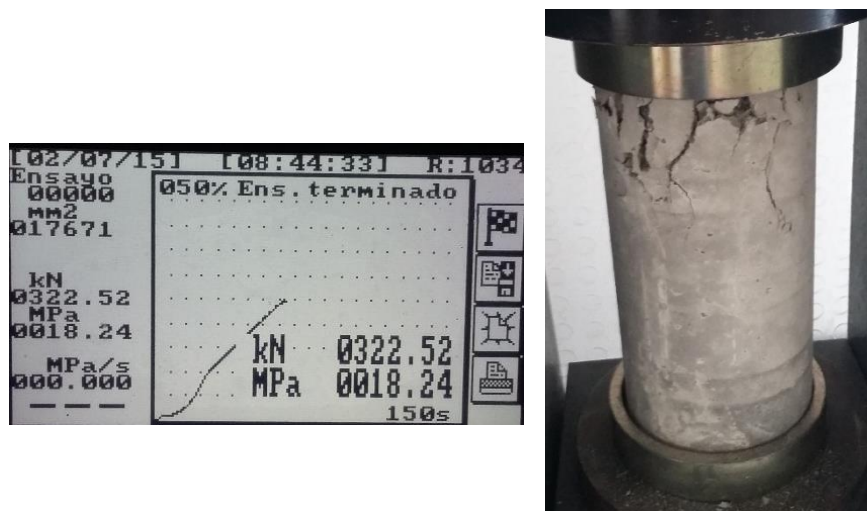
Fuente: Propia.

Figura 115. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, Fondo (21 días).



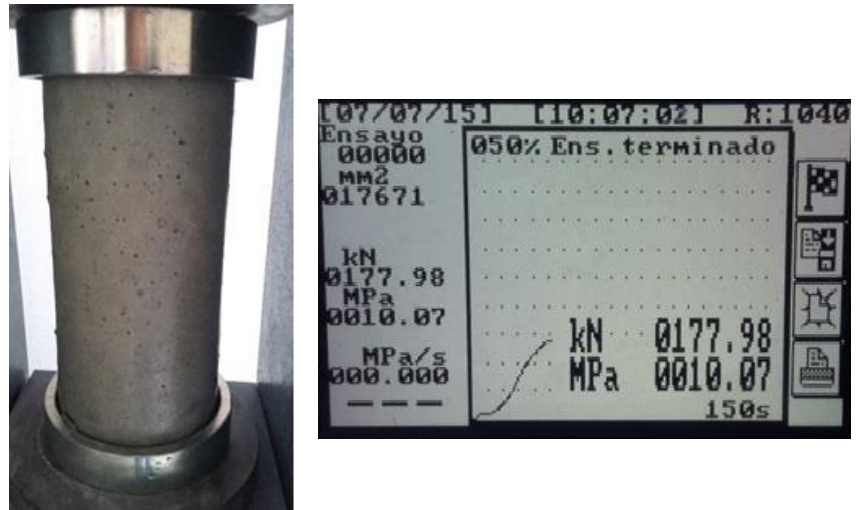
Fuente: Propia.

Figura 116. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, Fondo (28 días).



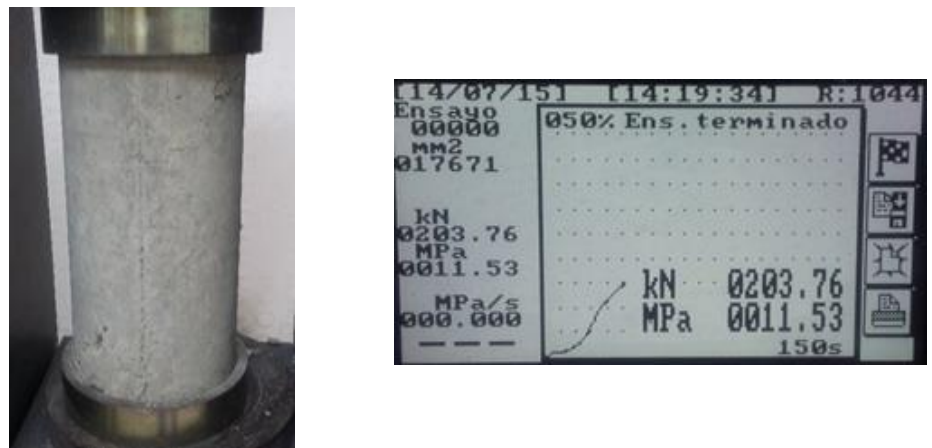
Fuente: Propia

Figura 117. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 3/8" (14 días).



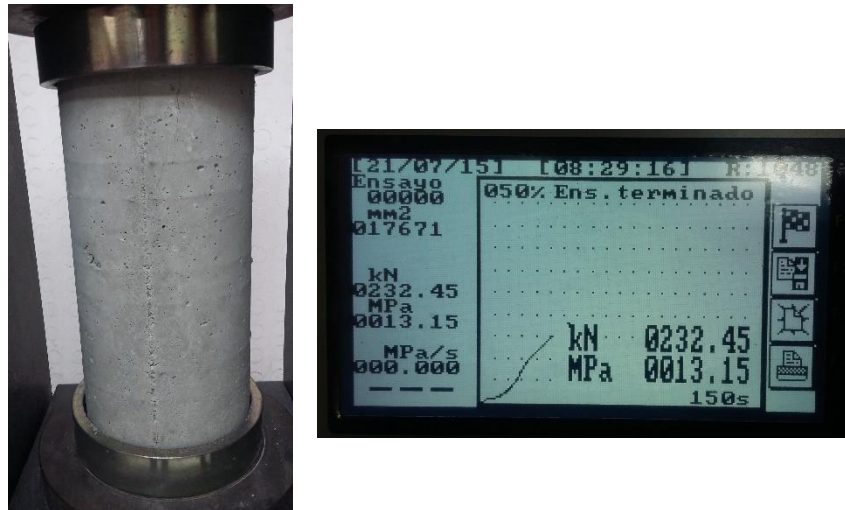
Fuente: Propia.

Figura 118. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 3/8" (21 días).



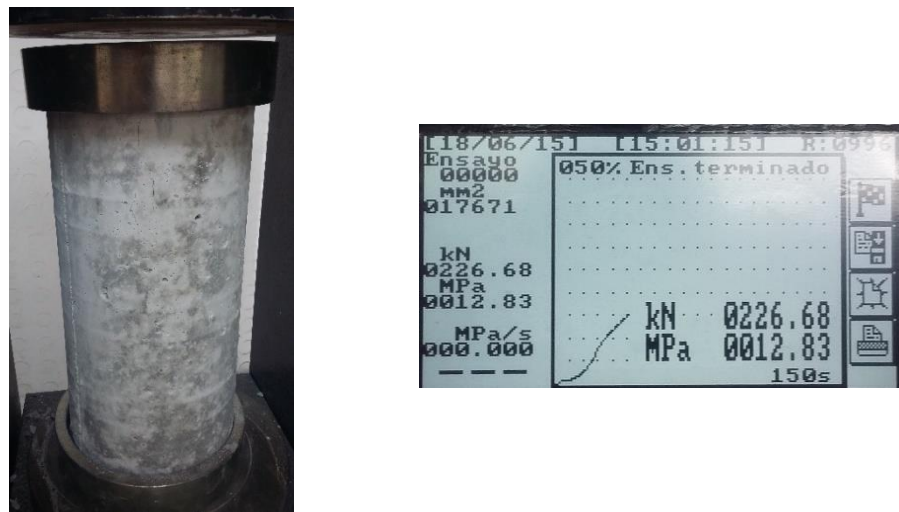
Fuente: Propia.

Figura 119. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 3/8" (28 días).



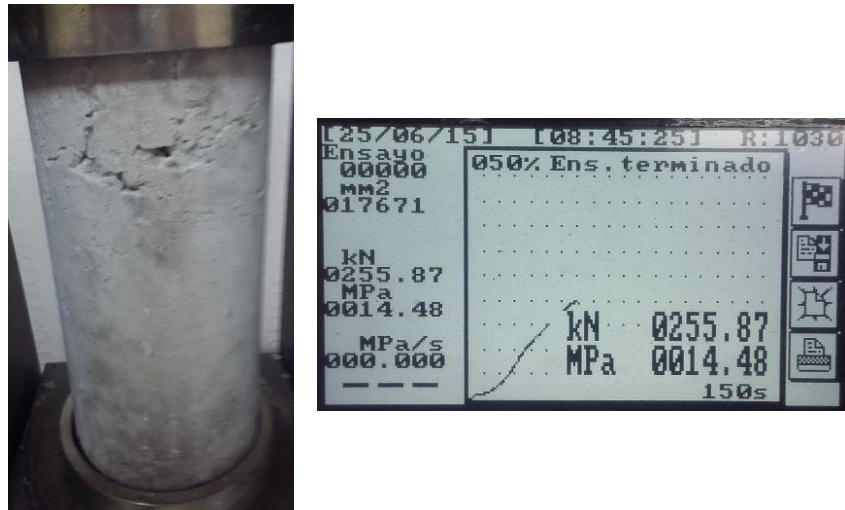
Fuente: Propia.

Figura 120. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 1/2" (14 días).



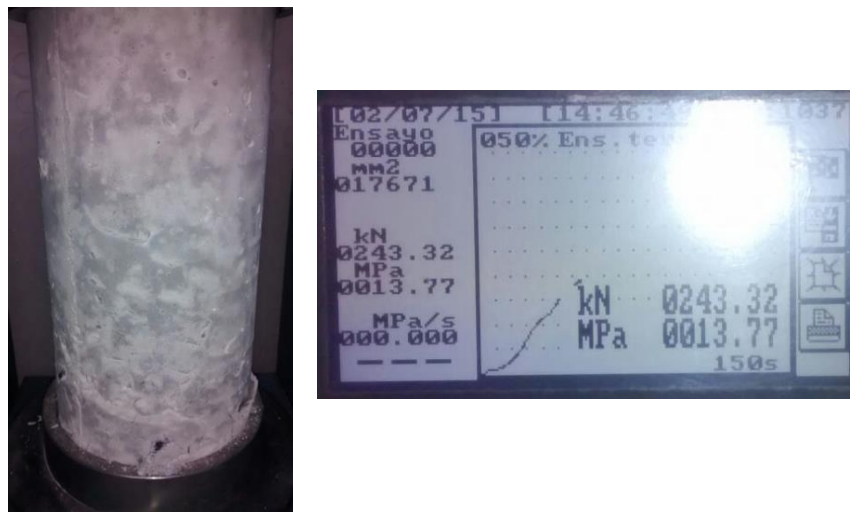
Fuente: Propia.

Figura 121. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 1/2" (21 días).



Fuente: Propia.

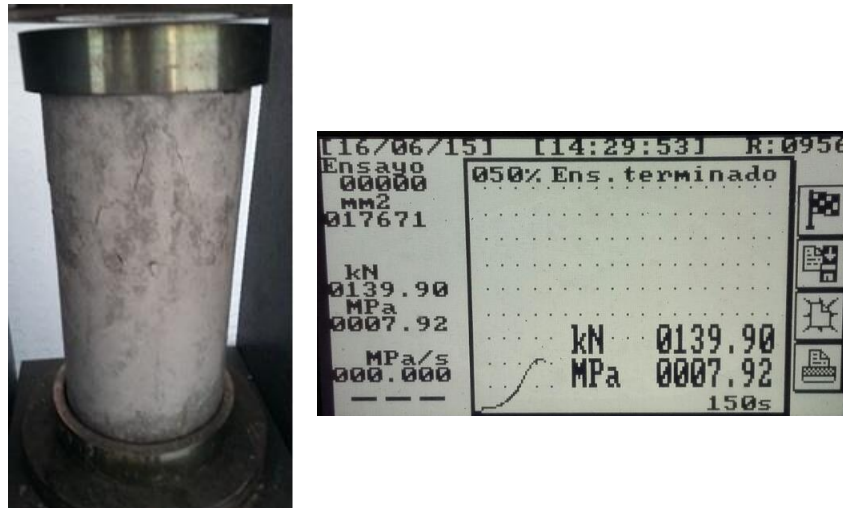
Figura 122. Falla de cilindro con carbón mineral 1%, 1/2" (28 días).



Fuente: Propia.

ANEXO H. Cilindros de concreto con carbón mineral 3%

Figura 123. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, Fondo (14 días).



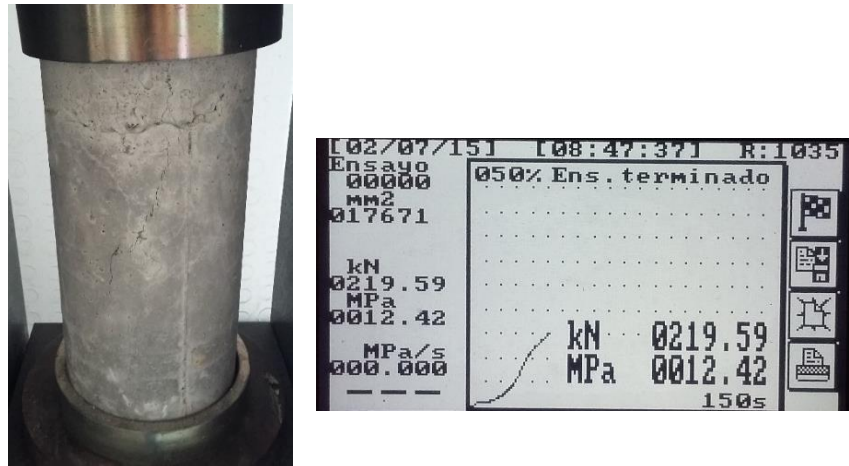
Fuente: Propia.

Figura 124. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, Fondo (21 días).



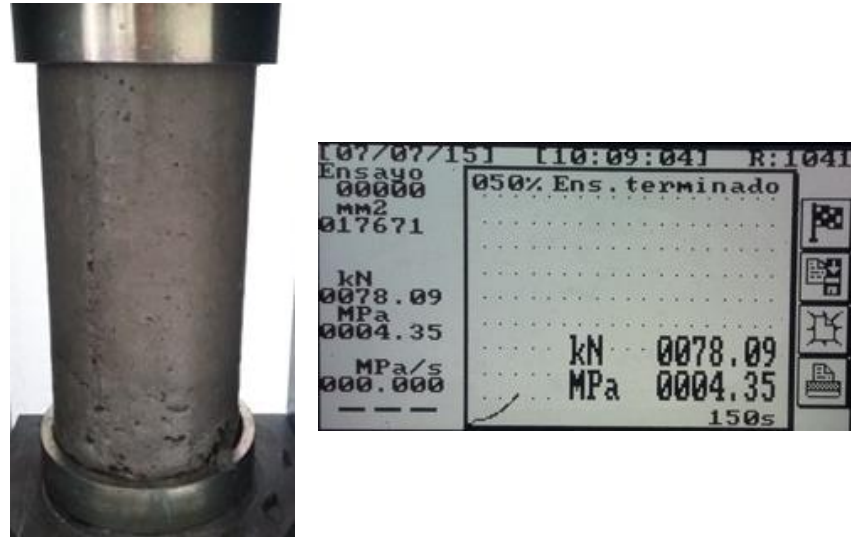
Fuente: Propia.

Figura 125. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, Fondo (28 días).



Fuente: Propia.

Figura 126. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 3/8" (14 días).



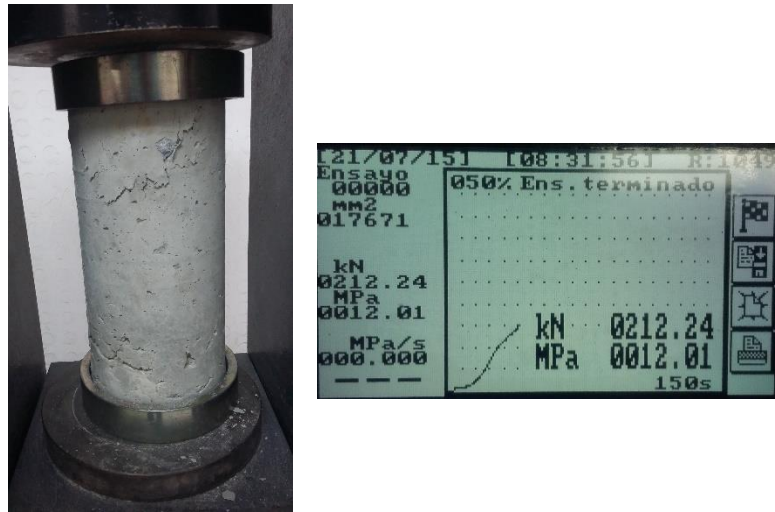
Fuente: Propia

Figura 127. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 3/8" (21 días).



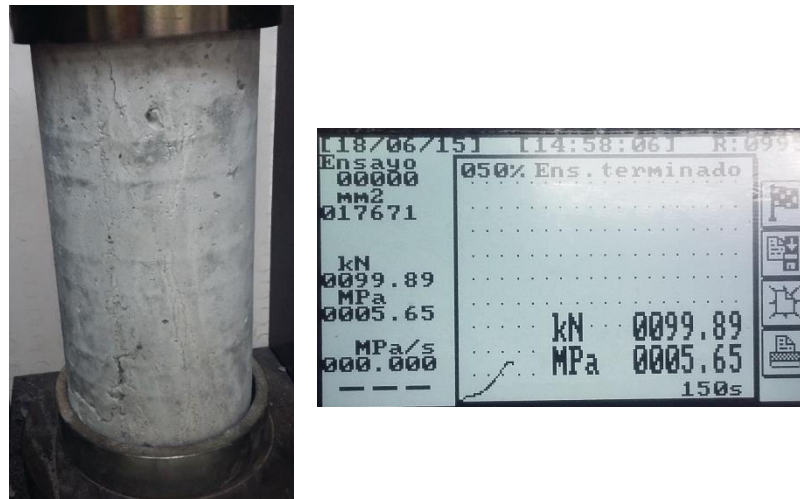
Fuente: Propia.

Figura 128. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 3/8" (28 días).



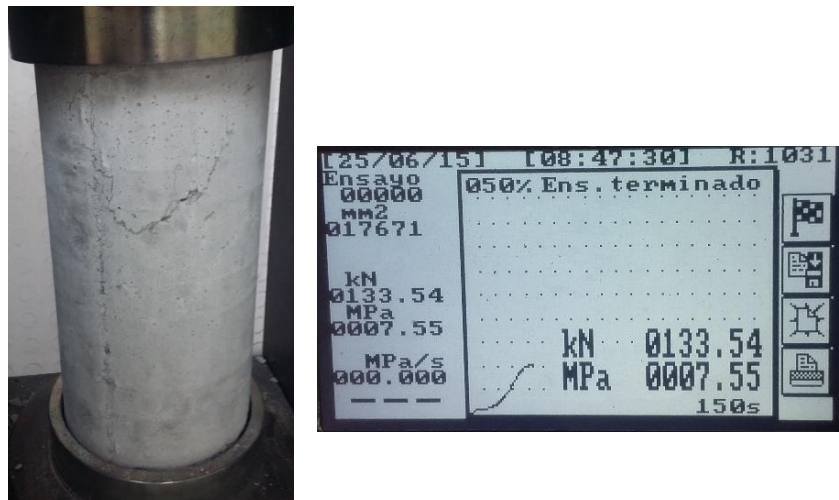
Fuente: Propia.

Figura 129. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 1/2" (14 días).



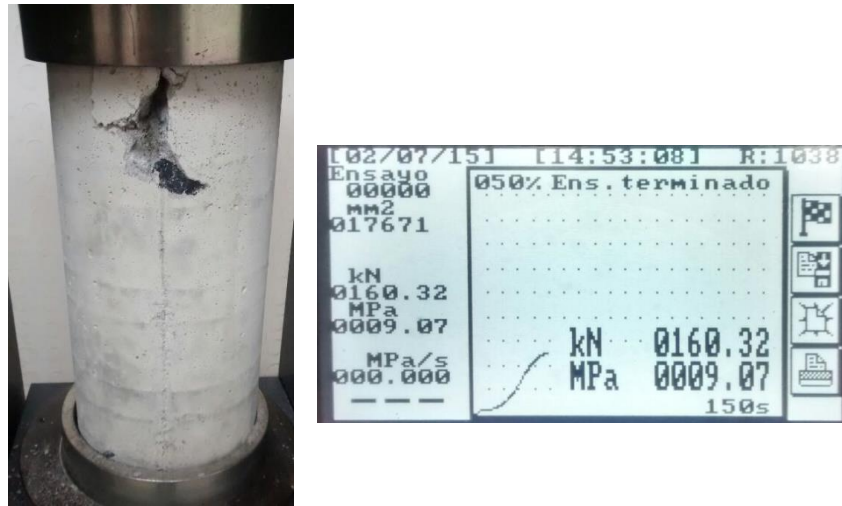
Fuente: Propia.

Figura 130. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 1/2" (21 días).



Fuente: Propia.

Figura 131. Falla de cilindro con carbón mineral 3%, 1/2" (28 días).



Fuente: Propia.

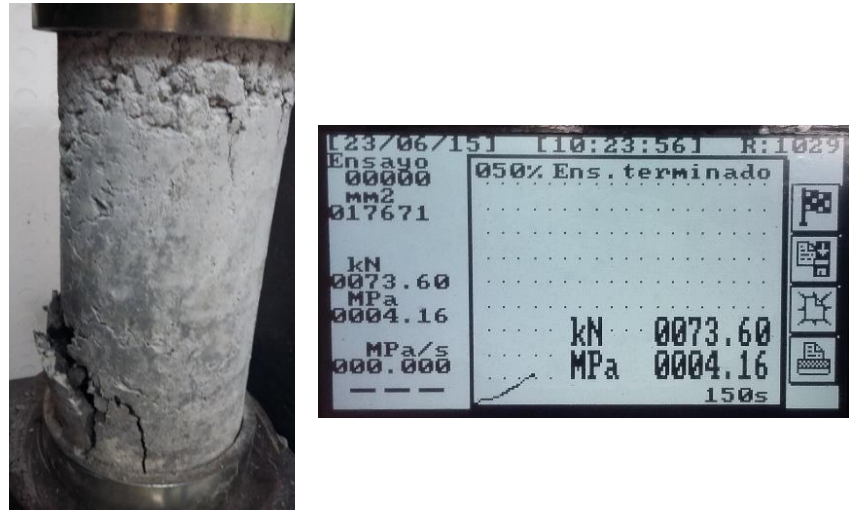
ANEXO I. Cilindros de concreto con carbón mineral 5%

Figura 132. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, Fondo (14 días).



Fuente: Propia.

Figura 133. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, Fondo (21 días).



Fuente: Propia.

Figura 134. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, Fondo (28 días).



Fuente: Propia.

Figura 135. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 3/8" (14 días).



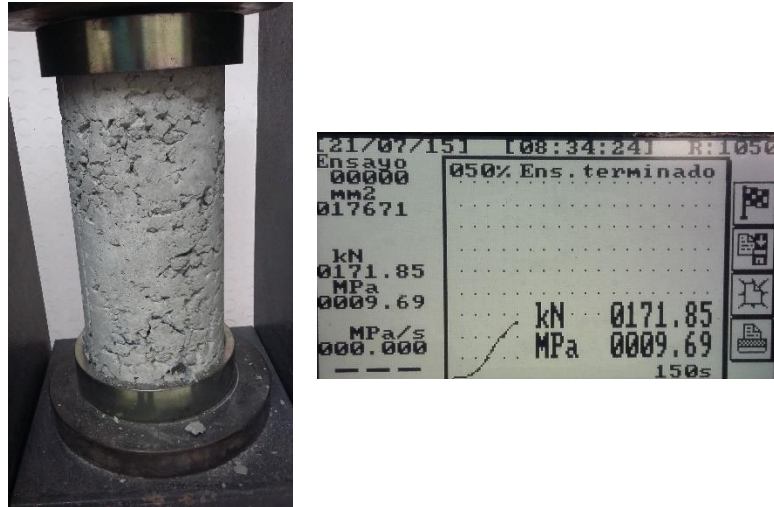
Fuente: Propia.

Figura 136. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 3/8" (21 días).



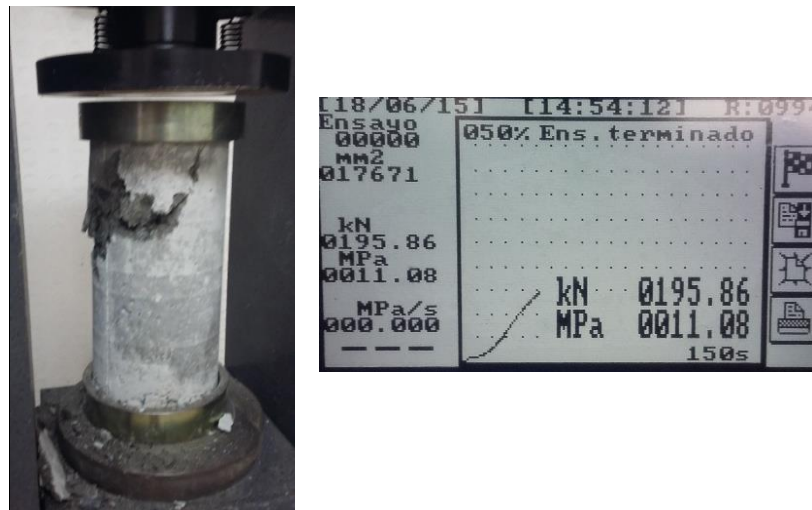
Fuente: Propia.

Figura 137. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 3/8" (28 días).



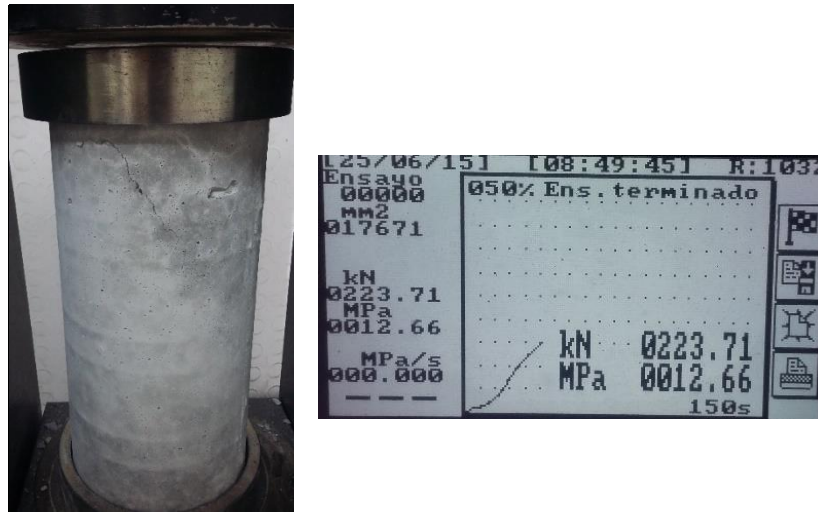
Fuente: Propia.

Figura 138. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 1/2" (14 días).



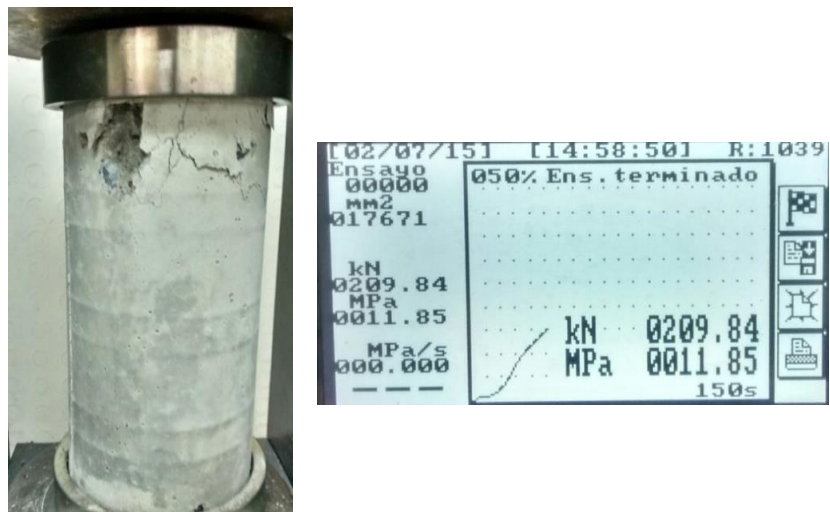
Fuente: Propia.

Figura 139. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 1/2" (21 días).



Fuente: Propia.

Figura 140. Falla de cilindro con carbón mineral 5%, 1/2" (28 días).



Fuente: Propia.

16. BIBLIOGRAFÍA

- Addleson Lyall. Materiales para la construcción. Editorial Reverte. S.A
- ARREOLA, Daniel D.E., RAMÍREZ MORAN J.A, SOTO A Luna., SEDANO DE LA ROSA C., PELAYO LÓPEZ J. A., GUTIÉRREZ CARDONA J. R. y BERNABÉ RAMOS F.; Determinación de la Resistencia a la Compresión de Morteros Aligerados Elaborados con Nano-compuestos Espumados de Polietileno de Alta Densidad Reciclado y Cemento Portland ; Universidad de Guadalajara Cancún – México (2013) ; Recuperado de: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP102.pdf>
- BASF- The Chemical Company. Recuperado de: http://www.thewall.cl/image/data/ficha_poliestireno.pdf
- CARRILLO LEÓN, Wilmer Julián. Estimación de los periodos naturales de vibración de viviendas de baja altura con muros de concreto; Bogotá - Colombia (2009); recuperado de: http://www.umng.edu.co/documents/guest/7.%20Informato/Revista%20Cien cia%20e%20Ingenieria%20Neogranadina/Revista%20Vol.19_1/sow_articulo_3_19_1.pdf
- CEPAL Sede México, el terremoto de enero de 1999 en Colombia: Impacto socioeconómico del desastre en la zona del Eje Cafetero, 1999. Recuperado de: <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodela laboratorios/servicios/DoDocumen /Lista%20de%20Precios%20Lab%20SCP-EAFIT%202013.pdf>.
- Documento Aditivos Para concreto.docx.
- LÓPEZ ÁVILA, Mario Alfonso. Evaluación de los procesos de corrosión en concretos aligerados con EPS expuestos en medios simulados y reales; Universidad Veracruzana (2013); recuperado de: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/33793/1/lopezavilamario.pdf>
- Medida consistencia del hormigón -Cono de Abrams. Recuperado de: <http://aprendiendofisica.bligoo.com.uy/media/users/26/1319209/files/411509 /MedidaConsistenciaHORMIGON.ConoABRAMS.pdf>
- MONSALVE JARAMILLO, Hugo y VARGAS JIMÉNEZ, Carlos. El sismo de armenia, Colombia, Un análisis tele sísmico de ondas de cuerpo, observaciones de campo y aspectos sismo tectónicos. (2002). Recuperado

de:http://search.proquest.com/cv_791920/docview/194685198/13DE76FBD B11211CA7/17?accountid=46889

- OCHOA, Mariana. Desastre Sísmicos, Universidad de México (2003). Recuperado de: [www.disasterinfo.net/lideres/spanish/mexico2003/presenta/Alumnos/Ochoa %20Marina/Crisis%20y%20desarrolloPPT.pdf](http://www.disasterinfo.net/lideres/spanish/mexico2003/presenta/Alumnos/Ochoa%20Marina/Crisis%20y%20desarrolloPPT.pdf)
- QUINTERO GARCÍA, Sandra & GONZALES SALCEDO, Luis; Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto; Cali – Colombia (2006); recuperado de: [http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/20/uso_de_la_fibra_d e_coco.pdf](http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/20/uso_de_la_fibra_de_coco.pdf).
- Revista Drummond, 10 años de buena energía en Colombia.
- RIVERA L. Gerardo A, Concreto simple - Dosificación de mezclas de concreto
- SANCHEZ DE GUZMAN, Diego; Tecnología del concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas - Tomo 1; Asocretos (2005). 214 p.